



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Aplicação do BIM na Inspeção e Diagnóstico de Edifícios Antigos: Estudo de Caso

Juliane Lucchesi Kuser

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da Silva
Professora Doutora Daniela Gutstein

Novembro de 2024



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Aplicação do BIM na Inspeção e Diagnóstico de Edifícios Antigos: Estudo de Caso

Juliane Lucchesi Kuser

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da
Silva

Professora Doutora Daniela Gutstein

Novembro de 2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor orientador, professor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da Silva, do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), do Instituto Politécnico de Viseu (IPV) e à professora orientadora, Daniela Gutstein, do Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Ambos por me guiarem nesta trajetória e colaborarem com a pesquisa.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e ao Instituto Politécnico de Viseu (IPV), por me proporcionarem a oportunidade de cursar Engenharia Civil e de participar do programa de dupla diplomação em Portugal.

Às minhas amigadas de longa data, especialmente à minha melhor amiga Giovanna Antoniazzi, que me proporcionaram momentos inesquecíveis e me deram forças.

Às minhas amigadas durante meu período de intercâmbio em Portugal, Francesca Polydoro, Gabriela Clemente, Laura Mello, Miguel Reghin e Nicolly Novais, que me acompanharam nesta fase do meu aprendizado, contribuindo para o meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Finalmente, mas com extrema importância, à minha família, pelo apoio e amor incondicional durante minhas decisões na trajetória acadêmica. E, principalmente, ao meu pai Jorge que me incentivou, motivou e esteve presente de todas as formas durante meu percurso e crescimento acadêmico, profissional e pessoal.

RESUMO

A modelagem da informação da construção (*Building Information Modeling* - BIM) é uma metodologia que vem sendo cada vez mais aplicada na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) tanto para o projeto como para a construção de edifícios. Porém, essa metodologia também pode ser aplicada a projetos de reabilitação de edifícios antigos – denominando-se modelagem da informação da construção histórica (*Heritage Building Information Modeling* (HBIM) - permitindo uma gestão eficaz da informação. O objetivo desta dissertação é complementar o estudo que vem sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), sobre edifícios antigos construídos por paredes de tabique. Aplica-se a metodologia BIM num estudo de caso de um edifício residencial antigo situado no centro urbano de Viseu, em Portugal, documentando no modelo BIM os levantamentos geométricos, os ensaios realizados em campo, as anomalias e danos existentes no edifício. Para isso, a metodologia adotada envolve a criação de famílias paramétricas, a utilização do *plug-in* BIMCollab e a modelagem do faseamento de projeto. A estrutura e a arquitetura do edifício são modeladas através do *software* Revit, criando-se um modelo BIM onde as demais informações são adicionadas. Dentre as conclusões obtidas pelo trabalho, o estudo propicia a sistematização da recolha e armazenamento dessa informação no modelo BIM (*Digital Twin*), facilitando a visualização do estado de conservação dos elementos estruturais e do edifício na sua globalidade, permitindo assim o gerenciamento da informação relacionada à inspeção e diagnóstico.

Palavras-chave: BIM; HBIM; Paredes de tabique; Inspeção e diagnóstico

ABSTRACT

Building Information Modeling (BIM) is a methodology that has been increasingly in the Architecture, Engineering, Construction and Operation (AECO) industry for both design and construction of buildings. However, this methodology can also be applied to rehabilitation projects of heritage buildings – called *Heritage Building Information Modeling* (HBIM) – enabling effective information management. The aim of this dissertation is to complement the study that has been developed in the Department of Civil Engineering of Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), on the heritage buildings built by partition walls. The BIM methodology is applied to a case study of an old residential building located in the urban center of Viseu, Portugal, documenting in the BIM model the geometric surveys, the tests carried out in the field, the anomalies and damage existing in the building. To achieve this, the methodology adopted involves creating parametric families, using the BIMCollab *plug-in* and modeling the project phasing. The structure and architecture of the building are modeled using Revit *software*, creating a BIM model where the other information is added. Among the conclusions reached by work, the study provides a systematization of the collection and storage this information in the BIM model (*Digital Twin*), facilitating the visualization of the state of conservation of the structural elements and the building as a whole, thus allowing the management of the related information from inspection and diagnosis.

Keywords: BIM; HBIM; partition wall; inspection and diagnostics

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL	vii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	xv
LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos da investigação	2
1.3 Abordagem metodológica	2
1.4 Estrutura da dissertação	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 Caracterização das construções em madeira	5
2.1.1 Principais patologias que afetam as estruturas de madeira	11
2.1.2 Inspeção e diagnóstico das estruturas de madeira	13
2.2 Building Information Modeling	16
2.2.1 Técnicas de levantamento de edifícios existentes	18
2.2.2 Uso do BIM na reabilitação	20
3. CASO DE ESTUDO	27
3.1 Descrição da edificação	27
3.2 Estado de conservação dos elementos construtivos	35
4. CRIAÇÃO DO MODELO BIM	41
4.1 Modelagem das paredes	42
4.2 Modelagem dos vãos	44
4.3 Modelagem dos pavimentos	48
4.4 Modelagem das escadas	51
4.5 Modelagem da cobertura	53
5. CATALOGAÇÃO DOS DADOS DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO NO MODELO BIM	59
5.1 Criação de famílias no Revit	60
5.2 Uso do BIMCollab para documentação de patologias	71
5.3 Faseamento no BIM	76
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	81

6.1. Conclusões	81
6.2. Desenvolvimentos futuros	84
REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS	87
APÊNDICES	91
APÊNDICE A – Plantas arquitetônicas com nomenclatura das paredes de tabique (PT)	93
APÊNDICE B – Plantas estruturais com disposição das vigas.....	98
APÊNDICE C – Localização do ensaio de vibração ambiental.....	101
APÊNDICE D – Alçados	104
APÊNDICE E – Perspectiva isométrica.....	107
APÊNDICE F – Interface BIMCollab Cloud.....	108
ANEXOS	109
ANEXO A – Plantas arquitetônicas de Cecília Moreno	111
ANEXO B – Plantas arquitetônicas e estruturais de Mendonça	120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das paredes de tabique segundo a sua tipologia construtiva (adaptado de Padrão <i>et al.</i> , 2020).....	7
Tabela 2 - Anomalias correntes no interior dos edifícios e suas respectivas causas (Cóias (2004) <i>apud</i> Mendonça (2023))	13
Tabela 3 - Dimensões dos elementos de madeira das paredes de tabique (adaptado de Mendonça, 2023).....	33
Tabela 4 - Resultado do <i>Resistograph</i> nas paredes de tabique (adaptado de Mendonça, 2023).....	37
Tabela 5 - Resultados do teor em água (%) na argamassa de revestimento das paredes de tabique (Mendonça, 2023)	38
Tabela 6 - Resultados do ensaio de vibração ambiental: modo de vibração na direção vertical (Mendonça, 2023)	39
Tabela 7 - Quantitativo das Janelas de Inspeções do modelo	63
Tabela 8 - Quantitativo de dados do ensaio com o <i>Resistograph</i>	65
Tabela 9 - Mapa de danos atribuídos às patologias	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos	3
Figura 2 - Arquétipo estrutural de casa de ressalto medieval (OASRS, 2016).....	6
Figura 3 - Esquema de uma parede de tabique (Rodrigues, 2022).....	8
Figura 4 - Pavimento de madeira de uma construção antiga de alvenaria. Vigas de secção transversal circular (Ilharco et al., 2018)	9
Figura 5 - Conectores metálicos (Fernandes, 2015)	10
Figura 6 - Cobertura tradicional de madeira (Brito, 2004).....	11
Figura 7 - Etapas de inspeção e diagnóstico de estruturas.....	14
Figura 8 – <i>Resistograph</i> (Mendonça, 2023)	15
Figura 9 – Sismógrafo, modelo GeoSIG GSR-18 (Mendonça, 2023).....	15
Figura 10 - Esquema de fases do ciclo de vida de uma construção em BIM (adaptado de Silva, 2021)	17
Figura 11 - Representação do estudo de caso do edifício Casa de Máquinas (Rocha et al., 2020).....	19
Figura 12 - Vista 3D das fachadas (Silva, 2021)	20
Figura 13 - Corte esquemático (Silva, 2021)	20
Figura 14 - Propriedades dos parâmetros tipo para os tipos da família Anomalias (Rangel, 2019)	22
Figura 15 - Propriedade dos parâmetros de instância para a Janela de Sondagem (Rangel, 2019)	22
Figura 16 – Dados associados às “Issues” do BIMCollab Zoom (Silva, 2021)	23
Figura 17 - Tela do Archicad com fachada e os danos modelados (Lima <i>et al.</i> , 2017)	24
Figura 18 - Localização do edifício em estudo (Google Maps, 2024).....	28
Figura 19 - Alçados do edifício em estudo.....	28
Figura 20 - Planta da cobertura com destaque na estrutura colapsada	29
Figura 21 - Alçado principal com indicação dos materiais construtivos (Moreno, 2019) 30	
Figura 22 - Parede com fendilhações e fissurações (Mendonça, 2023).....	30
Figura 23 - Piso 0 com parede externa de alvenaria de pedra (Mendonça, 2023)	31
Figura 24 - Vista interior da parede de tijolo maciço com argamassa de terra e cal do piso 2.....	31
Figura 25 - Parede de tabique com indicação dos seus elementos principais.....	32
Figura 26 - Configuração dos pavimentos	33
Figura 27 - Solução construtiva dos pavimentos de madeira (Pinto apud Mendonça, 2023).....	34
Figura 28 – Escadas de madeira	34

Figura 29 – Algumas das patologias constatadas na edificação (Mendonça 2023)	36
Figura 30 - Exemplo de gráfico obtido num ensaio com Resistograph (Mendonça, 2023)	37
Figura 31 - Valores do teor em água na superfície do revestimento da PT 9.1 (Mendonça 2023).....	38
Figura 32 - Exemplo de gráfico resultante do ensaio de vibração ambiental no pavimento (Mendonça, 2023)	39
Figura 33 - Fluxograma das etapas de modelagem em BIM.....	41
Figura 34 - Paredes de alvenaria de pedra na vista 3D	42
Figura 35 – Configuração da parede de alvenaria de tijolo de 300 mm	43
Figura 36 - Representação das paredes de tabique	43
Figura 37 - Comandos utilizados para a criação da família de porta paramétrica	45
Figura 38 - Parâmetros da família de portas	45
Figura 39 - Modelo com as paredes de pedra e os vãos do alçado principal	46
Figura 40 - Importação de janela (BIMObject, 2024)	47
Figura 41 - Modelo BIM com as paredes e vãos.....	47
Figura 42 - Modelo 3D com o soalho de madeira	48
Figura 43 – Modelagem do pavimento do piso 3	49
Figura 44 - Detalhe da estrutura do pavimento do piso 1	49
Figura 45 – Detalhe da estrutura do pavimento do piso 2.....	50
Figura 46 – Detalhe da estrutura pavimento do piso 3.....	50
Figura 47 - Padrão de visibilidade com filtros para vigas	50
Figura 48 - Planta estrutural do pavimento do piso 1 (Mendonça, 2023).....	51
Figura 49 - Planta estrutural do pavimento do piso 1 no BIM	51
Figura 50 - Nomenclatura da parede de tabique.....	52
Figura 51 - Planta arquitetónica do piso 1 (Mendonça, 2023)	53
Figura 52 - Planta arquitetónica do piso 1 no Revit.....	53
Figura 53 - Propriedades do tipo das terças	54
Figura 54 - Propriedades do tipo dos caibros	55
Figura 55 - Propriedades do tipo das ripas.....	55
Figura 56 - Estrutura do telhado e revestimento no Revit	56
Figura 57 – Perspetiva isométrica do edifício no Revit.....	57
Figura 58 - Janela de criação de modelo de vista	57
Figura 59 - Esquema dos dados a serem trabalhados no BIM.....	59
Figura 60 – Criação de famílias	60
Figura 61 – Famílias de modelo genérico “Janelas de Inspeção”	61

Figura 62 - Edição do grupo de parâmetros e seus parâmetros compartilhados.....	62
Figura 63 - Propriedades definidas na família "Janelas de Inspeção" da P.T 4.1.....	63
Figura 64 - Lista de imagens importadas para o modelo e atribuídas aos elementos de ensaio	64
Figura 65 - Passos para inserir gráfico do teor de água (%) na família	67
Figura 66 - Corte longitudinal com os gráficos do teor de água (%) na PT 6.3.....	68
Figura 67 - Quantitativo do ensaio de vibração ambiental nos pavimentos.....	69
Figura 68 - Criação de filtros no Revit.....	69
Figura 69 - Modelo BIM com o filtro ativo.....	70
Figura 70 - Modelo BIM com o filtro desativado	70
Figura 71 - Mapa de dano do destacamento da argamassa na PT 3.2	72
Figura 72 - Processo de inserção das informações de diagnóstico no BIMCollab (Issues)	74
Figura 73 - Interface da criação de “Issues” com o <i>plug-in</i> BIMCollab no Revit.....	74
Figura 74 - Interface do BIMCollab no Revit com o comando de inserir imagem	75
Figura 75 - Interface de criação de fases no Revit	76
Figura 76 - Interface da configuração dos gráficos das fases.....	77
Figura 77 – Faseamento do BIM – Exemplo de atribuição de fase ao alçado	77
Figura 78 - Filtro de fase da “Estrutura afetada”	78
Figura 79 - Filtro de fase da “Estrutura em recuperação”	79

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura AP.A 1 - Planta arquitetônico do Piso 0	93
Figura AP.A 2 - Planta arquitetônica do Piso 1	94
Figura AP.A 3 - Planta arquitetônica do Piso 2	95
Figura AP.A 4 - Planta arquitetônica do Piso 3	96
Figura AP.A 5 - Planta arquitetônica da cobertura.....	97
Figura AP.B 1 - Planta estrutural do Piso 1	98
Figura AP.B 2 - Planta estrutural do Piso 2	99
Figura AP.B 3 - Planta estrutural do Piso 3	100
Figura AP.C 1 - Localização do sismógrafo no Piso 1	101
Figura AP.C 2 - Localização do sismógrafo no Piso 2	102
Figura AP.C 3 - Localização do sismógrafo no Piso 3	103
Figura AP.D 1 - Alçado principal	104
Figura AP.D 2 - Alçado posterior	105
Figura AP.D 3 - Alçado lateral direito	106
Figura AP.D 4 - Alçado lateral esquerdo	106
Figura AP.E 1 - Perspectiva isométrica	107
Tabela AP.F 1 - Interface do BIMCollab Cloud	108
Figura AN.A 1 - Planta arquitetônica do Piso 0	111
Figura AN.A 2 – Planta arquitetônica do Piso 1	112
Figura AN.A 3 - Planta arquitetônica do Piso 2	113
Figura AN.A 4 – Planta arquitetônica do Piso 3	114
Figura AN.A 5 - Planta arquitetônica da cobertura	115
Figura AN.A 6 - Alçado principal.....	116
Figura AN.A 7 - Alçado posterior.....	117
Figura AN.A 8 - Corte CD.....	118
Figura AN.A 9 - Corte GH	119
Figura AN.B 1 – Localização das P.T no Piso 0	120
Figura AN.B 2 - Localização das P.T no Piso 1	121
Figura AN.B 3 - Localização das P.T no Piso 2	122
Figura AN.B 4 - Localização das P.T no Piso 3	123
Figura AN.B 5 - Planta da cobertura	124
Figura AN.B 6 - Disposição das vigas no pavimento do Piso 1	125
Figura AN.B 7 - DIsposição das vigas no pavimento do Piso 2.....	126

Figura AN.B 8 - Disposição das vigas no pavimento do Piso 3	127
Figura AN.B 9 - Localização dos ensaios no Piso 1	128
Figura AN.B 10 - Localização dos ensaios no Piso 2	129
Figura AN.B 11 - Localização dos ensaios no Piso 3	130

LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS

BIM – Building Information Modeling

HBIM – Heritage Building Information Modeling

DEC – Departamento de Engenharia Civil

ESTGV – Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

PT – Parede de tabique

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo abordará os fundamentos iniciais da pesquisa, iniciando-se com o enquadramento, onde serão abordados o contexto e a relevância do tema. Em seguida, serão apresentados os objetivos da pesquisa. A abordagem metodológica explicará em síntese os métodos e procedimentos e, por fim, será apresentada a estrutura da dissertação, com a organização e divisão do conteúdo pelos capítulos.

1.1 Enquadramento

Em Portugal, há uma vasta quantidade de edificações históricas que constituem o património cultural arquitetónico português e mundial. Por isso, são deveres da Engenharia e da sociedade a manutenção e preservação da autenticidade das edificações históricas por meio de práticas e princípios de reabilitação e conservação. Neste contexto, há técnicas construtivas antigas e tradicionais que permanecem no património português, como é o caso das paredes de tabique.

Conforme o Art. 2º da Lei n.º 32/2012, de 14 de Agosto, conceitua-se reabilitação como o conjunto de práticas que visam atribuir novas aptidões funcionais a uma construção, de modo a garantir os níveis adequados de segurança, desempenho e durabilidade. Devido à exposição ambiental das construções históricas e, muitas vezes, à falta de manutenção destas, é comum que sejam observadas manifestações de patologias nos elementos estruturais constituintes. Dessa forma, é fundamental que sejam desenvolvidos estudos de diagnóstico e inspeções nos edifícios, com o objetivo de manter a integridade do património histórico português e como fase preparatória para a elaboração de um projeto de reabilitação de edifícios antigos.

Além disso, com a perspectiva de aumento das obras de reabilitação e conservação em Portugal, torna-se necessária a adaptação do setor da Engenharia às novas exigências. Neste sentido, Lopes (2017) salienta que é fundamental a existência de informações dos projetos de reabilitação referentes à heterogeneidade de materiais construtivos, à geometria dos espaços interiores e exteriores, às legislações, aos processos construtivos da época e às operações necessárias no decorrer da execução da obra.

Neste sentido, segundo Eastman *et al.* (2014), a modelagem da informação da construção - *Building Information Modeling* ou BIM - surge como uma metodologia que

visa unir a modelagem paramétrica com a gestão da informação, permitindo a troca de informação entre todos os integrantes. Esta metodologia permite a modelagem ao nível da construção, que inclui detalhamentos e especificações, bem como a integração projeto-construção, de forma a proporcionar a integração das diferentes ferramentas de projeto.

Dessa forma, a utilização desta metodologia para a documentação de danos e patologias aplicada ao património histórico é conceituada como a modelagem da informação da construção histórica (*Heritage Building Information Modeling* ou HBIM). Trata-se de associar um banco de informações referentes à dados de inspeções e diagnósticos de estruturas históricas de forma realizar um mapeamento sistematizado da informação num modelo BIM.

Neste contexto, destaca-se a utilidade e aplicação desta metodologia na reabilitação de edificações históricas para evidenciar a viabilidade de registrar a documentação diagnóstica num único modelo BIM.

1.2 Objetivos da investigação

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram estabelecidos os seguintes objetivos:

- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre os sistemas construtivos de edificações históricas constituídas por paredes de tabique, as patologias que afetam as estruturas de madeira e sobre a inspeção e diagnóstico destes edifícios;
- Realizar um estudo de caso empregando a metodologia BIM no âmbito da inspeção, diagnóstico e reabilitação de um edifício histórico;
- Estabelecer uma metodologia que possibilite a introdução e armazenamento das informações de inspeção no modelo BIM;
- Implementar no modelo BIM a dimensão temporal que permita ao utilizador monitorar o estado de conservação do edifício.

1.3 Abordagem metodológica

Para o desenvolvimento do trabalho, a abordagem metodológica compreendeu a validação da inspeção e do diagnóstico efetuados para o edifício em estudo, por meio da

consulta da informação existente em estudo anterior e da visita ao local. Em seguida, prosseguiu-se para a modelagem virtual de elementos arquitetônicos e estruturais do edifício utilizando-se o *software* Revit 2023. Na etapa posterior foram incorporadas as informações provenientes dos estudos de diagnóstico e inspeção no modelo do edifício, compondo o modelo BIM, utilizando-se as classificações mais adequadas para cada situação. E, por fim, realizou-se uma análise das alternativas propostas, bem como suas vantagens e limitações, para a documentação dos dados de inspeção e diagnóstico no modelo BIM. As etapas de desenvolvimento da pesquisa estão apresentadas na Figura 1.

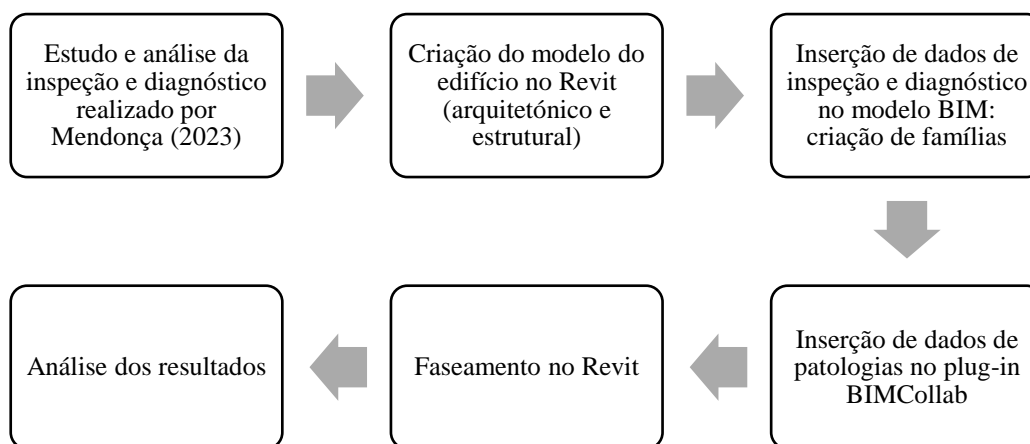


Figura 1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos

1.4 Estrutura da dissertação

O presente trabalho foi estruturado em seis capítulos distintos, cada qual com sua finalidade específica.

O primeiro capítulo é destinado à apresentação da temática do estudo, dos seus objetivos e da estrutura do documento.

Em seguida, no segundo capítulo é apresentada uma revisão de literatura relacionada com a temática deste trabalho.

O terceiro capítulo é composto pela descrição do estudo de caso, em que é abordada a descrição detalhada da edificação em estudo, bem como as patologias presentes e dados resultantes da inspeção e diagnóstico obtidos em estudo anterior.

O quarto capítulo apresenta a modelagem realizada em BIM, onde são descritas as etapas de modelagem da edificação no BIM utilizando-se o *software* Revit.

O quinto capítulo apresenta a inserção dos dados existentes da inspeção e diagnóstico no modelo BIM, em que serão exploradas a criação de famílias paramétricas, interoperabilidade de dados entre Revit e o *plug-in* BIMCollab - sistema de gerenciamento de dados em formato BCF (*BIM Collaboration Format*) - e o faseamento das etapas construtivas de recuperação da estrutura.

Por fim, o sexto e último capítulo é composto pelas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

Além dos capítulos mencionados, o presente estudo também conta com seis apêndices e dois anexos. No Apêndice A são apresentadas as plantas arquitetônicas com a nomenclatura das paredes de tabique. No Apêndice B apresentam-se as plantas estruturais dos pavimentos com a disposição das vigas. No Apêndice C apresenta-se a localização do ensaio de vibração ambiental realizado nos pavimentos. No Apêndice D encontram-se os alçados da edificação. No Apêndice E, encontra-se a perspectiva isométrica. E, por fim, no Apêndice F a interface do BIMCollab Cloud, sistema de gerenciamento de dados na nuvem. Além disso, há os Anexos A e B, sendo compostos pelas plantas arquitetônicas de Cecília Moreno e as plantas arquitetônicas e estruturais de Mendonça (2023), respectivamente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os sistemas construtivos no mundo sofrem adaptações à realidade e às necessidades da população. Tais evoluções ocorrem com a substituição e/ou adequação de técnicas construtivas, materiais, equipamentos, processos, entre outros. Em Portugal, é notório o crescimento do número de novas e modernas construções, mas também mesclando-se com áreas de predominância de construções históricas que perduram até à atualidade.

Segundo Teixeira (2004), no século XVII, as construções eram caracterizadas por um piso de rés-do-chão, onde se situavam lojas ou oficinas, com um acesso por meio de uma escada de um lance para o restante dos pisos acima. Em muitas destas construções da formação medieval, o piso do rés-do-chão era constituído em pedra e, o restante dos pisos, em tabique. Com a evolução da construção a partir do século XVIII e as preocupações com segurança das habitações, notou-se progressiva substituição das paredes em tabique por paredes em alvenaria de tijolo. No entanto, é notório que há edificações em que ainda perduram o sistema construtivo de paredes de tabique.

2.1. Caracterização das construções em madeira

Conforme Cardoso (2013), o tabique é uma técnica construtiva de arquitetura de terra utilizada na construção de paredes desde o período neolítico. Esta técnica consiste no posicionamento vertical, horizontal ou inclinado de elementos de madeira, que são pregados e preenchidos com um material à base de terra, de origem argilosa ou siltosa, para preencher os espaços vazios existentes entre os elementos.

Em Portugal, essa técnica construtiva foi amplamente utilizada entre os séculos XIX e XX, em que envolvia a utilização de diferentes materiais com os seus comportamentos mecânicos específicos e respectivas propriedades de durabilidade. Eram empregadas madeira maciça em tábuas, prumos e ripas, além de argamassas e ligantes metálicos. Segundo Mendonça (2023), a utilização da madeira como material principal justificava-se pela facilidade de transportar, trabalhar e pelo seu baixo custo no país, visto que eram utilizados os materiais disponíveis no local, tornando o processo dependente dos recursos naturais.

No entanto, ao longo do tempo, as paredes de tabique sofreram adaptações referentes à evolução das técnicas construtivas. Um exemplo disso são as alterações dimensionais das tábuas e ripas, que eram mais espessas e espaçadas, para larguras e espaçamentos menores. Também, se podem citar mudanças referentes às argamassas, em que as argamassas terrosas foram substituídas pelas argamassas com cal para melhoria da coesão dos elementos. Além dos ligadores metálicos de aço forjado com seção variável, que foram substituídos por ligadores com baixa percentagem de carbono, fabricados industrialmente e com seção constante (Padrão *et al.*, 2020).

As paredes de tabique podem ser utilizadas tanto externamente, conferindo resistência ao edifício, como internamente, funcionando como elemento divisor de ambientes. Conforme a OASRS (2016), a utilização do tabique nos prédios históricos dava-se essencialmente nos pavimentos superiores, de forma a evitar o contacto direto com o solo para que não houvesse condição favorável para a degradação do elemento de madeira. Dessa forma, a estrutura de madeira era comumente apoiada em paredes mestras de alvenaria de pedra. A Figura 2 apresenta este sistema construtivo executado internamente e externamente em edificações antigas.



Figura 2 - Arquétipo estrutural de casa de resalto medieval (OASRS, 2016)

Conforme Padrão *et al.* (2020), as paredes de tabiques podem ser classificadas de acordo com a sua tipologia construtiva. Na Tabela 1, apresentam-se as quatro tipologias mais comuns em edifícios históricos investigados no Centro Histórico de Viseu, contemplando a descrição do sistema e uma fotografia.

Tabela 1 - Classificação das paredes de tabique segundo a sua tipologia construtiva (adaptado de Padrão *et al.*, 2020)

Descrição	Fotografia
<p>Tipologia mais simples utilizada nas construções mais antigas. Os elementos de madeira principais são posicionados verticalmente. As ripas, com secção transversal aproximadamente retangular, e prumos são aplicados com grande afastamento entre si.</p>	
<p>Paredes de tabique constituída por tábuas verticais de secção transversal irregulares. As ripas têm secção retangular e os prumos passam as tábuas que apresentam menos afastamento.</p>	
<p>Parede de tabique composta por tábuas verticais e ripas aparelhadas. A secção transversal das tábuas é retangular e a das ripas é trapezoidal.</p>	
<p>Paredes de tabique duplas mais recentes. Constituídas por camadas de tábuas verticais e diagonais justapostas pregadas entre si. A secção das tábuas é retangular e a das ripas é trapezoidal.</p>	

A Figura 3 apresenta um corte esquemático dos elementos constituintes das paredes de tabique, sendo que a madeira é o elemento principal desta estrutura utilizada nas tábuas verticais/diagonais e nas ripas de fasquio. Nota-se que as tábuas são dispostas verticalmente e as ripas horizontalmente, sendo estes elementos ligados entre si com conectores metálicos. A proteção dos elementos de madeira em relação à presença de humidade era realizada com a argamassa de enchimento à base de material terroso.

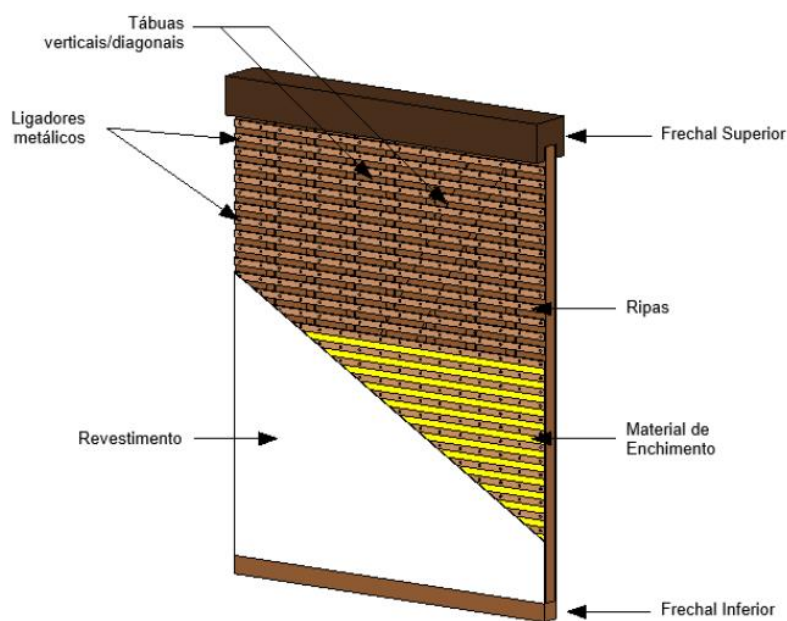


Figura 3 - Esquema de uma parede de tabique (Rodrigues, 2022)

Além de constituírem os elementos verticais (paredes) das edificações históricas, as estruturas de madeira também eram aplicadas nos elementos horizontais (vigas e pavimentos). Conforme Ilharco *et al.* (2018), os pavimentos de madeira dos edifícios antigos assumem um papel fundamental na transferência e distribuição dos esforços, advindos das cargas de utilização do pavimento e dos impulsos horizontais das paredes. Sendo assim, os pavimentos não só garantem espaços e ambientes funcionais em diferentes níveis de altura, mas também estabelecem conexões entre as paredes.

Segundo Ilharco *et al.* (2018), em relação à disposição e comportamento estrutural dos pavimentos de madeira, estes apresentam uma estrutura constituída por um soalho de madeira, que se apoiava nas vigas de madeira de castanho, carvalho ou pinho, suportadas pelas paredes de alvenaria de pedra ou tabique (ver a Figura 4). Apesar das vigas constituírem o sistema principal dos pavimentos, é importante ressaltar a função estrutural

do soalho de distribuir as cargas verticais pelas vigas e homogeneizar o comportamento dos pavimentos. Por conta da possibilidade da variação de secções das vigas ao longo dos seus comprimentos, o soalho permite que o pavimento assuma uma forma contínua e que as vigas recebam as cargas proporcionais à sua rigidez.



Figura 4 - Pavimento de madeira de uma construção antiga de alvenaria. Vigas de secção transversal circular (Ilharco et al., 2018)

Segundo Ferreira (2009), as ligações entre os elementos construtivos, nomeadamente entre paredes e pavimentos, em edifícios antigos são bastantes variáveis devido às suas singularidades. A ligação das vigas do pavimento nas paredes geralmente era encastrada nas paredes ou apoiada em outros elementos salientes. No entanto, conforme Dias (2008), muitas vezes eram utilizados ferrolhos (barras achatadas de ferro) com furos para pregar as vigas e reforçar a ligação entre os pavimentos e as paredes resistentes.

Conforme Fernandes (2015), além de efetuarem a ligação entre as paredes e pavimentos, os conectores metálicos eram aplicados em grande variedade nas edificações históricas, como: ligação do fasquio às tábuas verticais, ligação entre frechais, ligação entre paredes de tabique, ligação de chapas metálicas às paredes de tabique, ligação da argamassa aos elementos de madeira, entre outros.

Nesse sentido, segundo Rodrigues (2022), os conectores metálicos (ou pregos) são, por definição, hastes de metal compostas por duas pontas: uma afiada e a outra achatada (cabeça). Sua função é unir objetos, sendo preferencialmente aplicado na ligação de elementos de madeira.

Os pregos possuem diferentes características em relação à sua forma geométrica e finalidade de construção, destacando-se a diversidade de tamanhos, formatos e espessuras. No sistema construtivo em estudo, os pregos possuem variedade na aplicação da ligação entre os diversos elementos, como: fixação do revestimento exterior, ligação do fasquiado às tábuas verticais, ligação horizontal entre tábuas verticais, ligação das tábuas verticais aos pavimentos, ligação entre paredes de tabique, ligação das chapas metálicas às paredes de tabique, entre outros (Fernandes, 2015). A Figura 5 apresenta a diversidade de conectores metálicos nas ligações mencionadas.



Figura 5 - Conectores metálicos (Fernandes, 2015)

Além da madeira constituir os pavimentos e paredes, também era aplicada às estruturas de coberturas do edificado antigo (ver a Figura 6). Sendo que, segundo Moreira (2009), as coberturas mais usuais eram constituídas por um sistema estrutural principal, composto por asnas e elementos de ligação, e outra secundária, que assente sobre a principal, sendo composta por varas, guarda-pós e ripas (elementos de suporte). Por último, o revestimento, normalmente telhas cerâmicas, encaixava entre as ripas e a estrutura secundária, e que tinha sua inclinação dependente da região e dos agentes atmosféricos condicionantes locais.

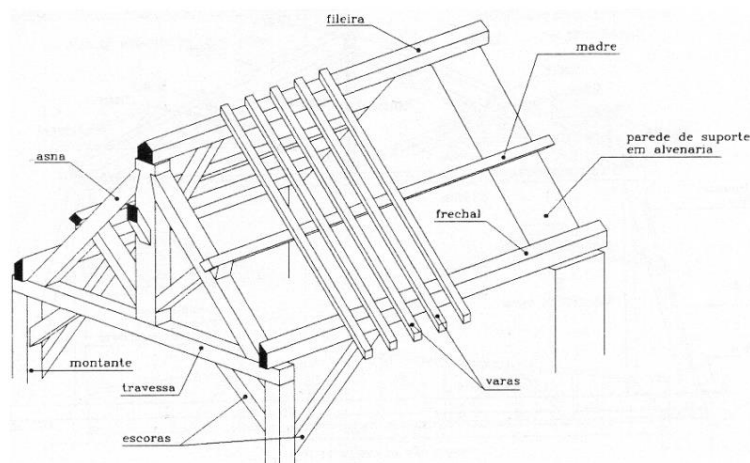


Figura 6 - Cobertura tradicional de madeira (Brito, 2004)

2.1.1 Principais patologias que afetam as estruturas de madeira

Conforme Souza e Ripper (2009), a Patologia das Estruturas no âmbito da Engenharia da Estruturas é a área de conhecimento que estuda as origens, manifestações, consequências e mecanismos de degradação dos sistemas estruturais, além de referir-se à concepção e ao projeto de estruturas. Além disso, as estruturas devem atender aos requisitos mínimos de durabilidade, segurança e desempenho em função da combinação de ações e do ambiente em que estão inseridas, conforme o Eurocódigo 1 (2002), sendo um fator fundamental na construção. A exigência em reabilitar e conservar as estruturas existentes, tanto por questões económicas, sociais ou históricas, conduz à concepção e ao projeto estrutural, em que a segurança, funcionalidade e vida útil se tornam conceitos fundamentais para o desempenho futuro da estrutura. Neste sentido, é importante que a engenharia dê a devida atenção às anomalias presentes nos edifícios para que sejam prosseguidas manutenções e reabilitações e, assim, garantir a sua funcionalidade e durabilidade.

A madeira é um material amplamente utilizado na construção civil podendo desempenhar funções variadas, como em paredes, pavimentos e coberturas dos edifícios. No entanto, é comum o aparecimento de manifestações patológicas que levam à degradação do material, tanto de forma rápida como lenta, dependendo das condições ambientais, da utilização e manutenção. Nesse sentido, conforme Amorim (2009) *apud* Ferreira (2010), as patologias mais correntes nas construções em madeira são:

- Alterações nas características físicas e químicas dos elementos de madeira ou derivados utilizados nas soluções construtivas;

- Perda de aptidão para o uso estrutural, relacionada com a degradação dos materiais ou por soluções originais ou por modificação das condições iniciais, associadas a novas exigências de desempenho, mudanças na utilização ou no tipo e características dos utentes;
- Degradação do funcionamento do elemento construtivo como um todo (porta, janela, portada, soalho) associado ao envelhecimento, deficiente limpeza ou manutenção, mas também, muitas vezes, deficiente utilização.

As principais causas das patologias, segundo Ferreira (2010), podem-se dividir em causas naturais e humanas. Sendo a primeira delas relacionada à humidade, ação dos raios solares, vento e organismos biológicos. E a segunda, devido à deficiente concepção de projeto, deficiente execução, deficiente utilização, limpeza e manutenção escassas.

Por ser uma matéria-prima de origem vegetal, a madeira possui mecanismos de degradação causados principalmente por organismos biológicos. Conforme Brito (2014), as causas das anomalias podem se manifestar através da ação dos agentes de deterioração bióticos (fungos, insetos e perfurados marinhos) e abióticos (agentes físicos, químicos e atmosféricos ou meteorológicos).

A Tabela 2 apresenta as principais patologias de caráter não estrutural nos interiores das edificações com estruturas em madeiras, bem como as suas possíveis causas. Nota-se que uma das principais causas naturais de deterioração da madeira é a presença de água sob diversas formas, como humidade ou através de infiltrações. Outra causa comum nas estruturas de madeira é a variação de temperatura que provoca a dilatação dos materiais, podendo ocorrer fissurações/fendilhações ou até mesmo a rotura, perdendo a sua função.

Nesse sentido, conforme Ferreira (2010), sabendo-se os principais agentes de deterioração dos elementos e materiais constituintes de uma edificação, é possível identificar as formas de manifestação e caracterizá-las para a obtenção de um diagnóstico coerente.

Dessa forma, diante da existência de manifestações patológicas em estruturas, a durabilidade é fundamental para garantir a qualidade e o desempenho que determinam a sua vida-útil. No âmbito da reabilitação de estruturas, há diferentes termos como conservação, reabilitação, manutenção, restauro, entre outros, que estão diretamente ligados com a durabilidade.

Tabela 2 - Anomalias correntes no interior dos edifícios e suas respectivas causas (Cóias (2004) apud Mendonça (2023))

Componente	Designação da anomalia	Causas
Entradas e zonas comuns interiores		
Parede enterrada	Infiltração	Falta de impermeabilização ou drenagem do lado do terreno
		Fendas
		Juntas deficientes
Pavimento de madeira	Podridão	Podridão facilitada pela presença de humidade ou de ciclos de molhagem/secagem
		Disposições construtivas inadequadas
Revestimento interior da parede	Desagregação	Humidade proveniente do terreno em contacto com a parede
		Má ventilação
		Pontes térmicas
Pavimento – junta	Deterioração	Má concepção ou execução da junta
Parede interior		
Parede de andar intermédio	Mancha de humidade	Infiltrações pela fachada
		Fugas em canalizações
		Manchas se localizarem junto de vãos, podem ter origem em infiltrações pelas caixilharias
Parede de andar térreo	Mancha e alteração	Humidade ascendente proveniente do terreno
		Deficiente isolamento das paredes
Parede de último andar	Desligamento tecto/parede	Efeito de dilatações
Pavimentos interiores		
Revestimentos de madeira	Descolagem e levantamento	Inchamento da madeira devido à presença de humidade no substrato devida a fuga em canalizações ou humidade ascendente
		Folga pequena entre o revestimento e as paredes
		Juntas estreitas
		Aplicação de madeira excessivamente secas
		Má manutenção
		Infiltrações ou fugas fortuitas de grande intensidade que não sejam imediatamente debeladas
Tetos	Eflorescência e criptoflorescência	Infiltrações pela cobertura
		Fuga de canalizações, com arrastamento e deposição de sais

2.1.2 Inspeção e diagnóstico das estruturas de madeira

Quando se pretende melhorar ou corrigir o comportamento estrutural, recorre-se a uma intervenção na estrutura. As anomalias detetadas numa edificação podem ter uma ou mais causas devido à variedade de elementos que a constituem, bem como as variadas funções que eles desempenham (Mendonça, 2023). Por isso, torna-se necessário a realização de uma inspeção/avaliação e, a depender do estado da construção, uma intervenção.

O tipo de intervenção a ser feita no património deverá ser realizado conforme os objetivos da obra, valor intrínseco do património e interesse da sociedade. Desta forma,

segundo a OASRS (2016), é importante a distinção entre os conceitos de reabilitação, conservação e restauro. A reabilitação é definida como a compatibilização entre os elementos e técnicas construtivas existentes com as técnicas atuais, satisfazendo os requisitos de segurança, durabilidade e funcionalidade. Já a conservação e restauro tem por objetivo a reparação ou atuação preventiva de qualquer obra em que seja necessário preservar a sua integridade física, de maneira a repor o seu nível de desempenho inicial.

Para que sejam tomadas decisões referentes às soluções e intervenções da estrutura, realiza-se uma avaliação estrutural que deve contemplar as seguintes etapas (ver a Figura 7):



Figura 7 - Etapas de inspeção e diagnóstico de estruturas

Desta forma, é fundamental a realização de inspeções nos edifícios para averiguar as manifestações patológicas existentes e, se necessário, a tomada de medidas de intervenção.

No âmbito das estruturas de madeira, há diversos ensaios não destrutivos e semi destrutivos que podem ser realizados, sendo o principal deles o ensaio com o *Resistograph*.

Segundo Lladro *et al.* (2006), o *Resistograph* é um aparelho que permite avaliar a integridade da madeira a partir da perfuração no elemento através de uma agulha. Trata-se de um ensaio não destrutivo, composto por um elemento perfurador e um dispositivo de recolha de dados de pequena dimensão, como se ilustra na Figura 8. O ensaio permite

obter um gráfico em que se relaciona a resistência à perfuração com a profundidade da agulha, sendo possível detetar podridões, vazios e defeitos interiores que não são visíveis numa inspeção visual.



a) Elemento perfurador



b) Dispositivo de recolha de dados

Figura 8 – Resistograph (Mendonça, 2023)

Há também o ensaio de vibração ambiental que, conforme Serpa (2015), se utiliza um sismógrafo que permite a identificação das frequências naturais, modos de vibração e identificação do comportamento dinâmico. Este método é vantajoso em relação a outros tipos de ensaio por não ser necessário criar excitações na estrutura, tornando-se um método de rápida execução. Um exemplo de um aparelho sismógrafo, utilizado no teste de vibração ambiental, é apresentado na Figura 9.



Figura 9 – Sismógrafo, modelo GeoSIG GSR-18 (Mendonça, 2023)

Além deste ensaio, há também o ensaio de aferição do teor em água nas construções, em que se utiliza um humidímetro portátil para avaliar o teor de água das paredes. Trata-se de um ensaio simples, sendo que o aparelho possui agulhas ou sondas que permitem avaliar o teor de água nas paredes.

Além dos ensaios *in situ* acima mencionados, há também outras técnicas fundamentais para avaliar a qualidade, estado de conservação e resistência mecânica dos elementos de madeira. Por exemplo os ensaios de ultrassons, divididos nos métodos de eco, transmissão e ressonância, que possuem o princípio da relação entre a velocidade de propagação da onda e as propriedades do meio que atravessa. Estes ensaios permitem detetar a integridade do elemento de madeira conforme a velocidade de transmissão da onda propagada.

Além disso, é possível medir a densidade superficial do elemento com o aparelho *Pyloclin*, que se baseia na profundidade de penetração do pino metálico do aparelho na madeira para aferir a presença de degradação superficial e estimar a secção residual. Outro ensaio fundamental a ser realizado em paredes exteriores, baseado no estudo térmico, é a termografia, que se baseia na avaliação do comportamento térmico de diversos materiais. Consiste na medição da radiação térmica a qual uma superfície é exposta e, com a interpretação dos termogramas, é possível avaliar a presença de diferentes materiais.

Há outros ensaios que podem ser realizados nos elementos de madeiras, como a extração de carotes, radiografia, *Ground Penetrating Radar* (G.P.R), métodos de vibração induzida, entre outros. No entanto, é válido ressaltar que os ensaios devem ser realizados por um profissional qualificado para proceder-se com a avaliação estrutural e diagnóstico da madeira.

2.2. Building Information Modeling

A Modelagem da Informação da Construção (em inglês, *Building Information Modeling* – BIM) é um dos avanços relacionados à indústria da arquitetura, engenharia, construção e operação (AECO). Conforme Eastman *et al.* (2014), uma das suas características principais é a modelagem paramétrica, que consiste na definição de famílias e modelos ou classe de elementos que permitem controlar os parâmetros pelos quais as instâncias dos elementos podem ser geradas.

Segundo Venâncio (2015), a metodologia BIM não é um *software*, uma reprodução tridimensional de elementos de construção, ou mesmo um processo colaborativo sem um modelo integrado. O conceito BIM engloba toda a modelagem de informação que vai desde a concepção de uma edificação, da sua construção e com possibilidade de atualização durante a sua operação. Trata-se de um modelo parametrizado formado por um conjunto de elementos individuais, com propriedades e funções atribuídas e interação entre eles.

Segundo Silva (2021), o ciclo de vida de uma construção em BIM reúne as fases de projeto, execução e operação, sendo que vai desde o planejamento da edificação até ao final do seu ciclo de vida, com a sua demolição ou renovação, passando pelas fases apresentadas esquematicamente na Figura 10.

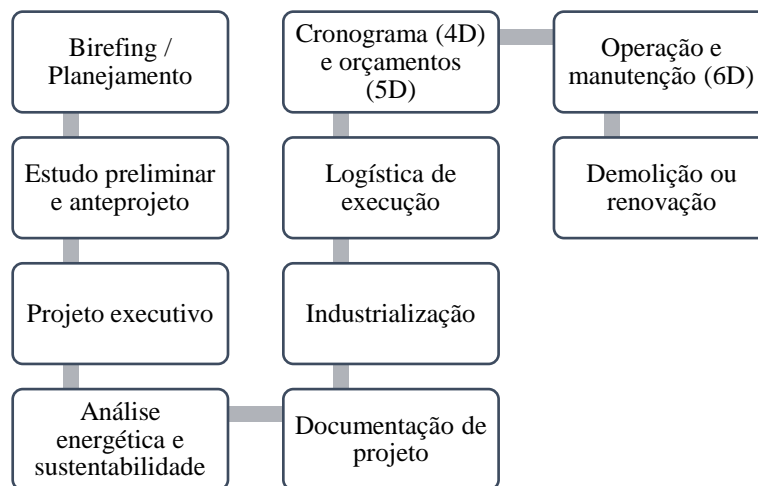


Figura 10 - Esquema de fases do ciclo de vida de uma construção em BIM (adaptado de Silva, 2021)

No âmbito do BIM, de acordo com o BIM Dictionary (2019), designa-se por LOX (nível de X) como um termo genérico que engloba as variedades de especificações que pode conter um modelo. Há três tipos distintos, sendo o LOD (nível de desenvolvimento), LOI (nível de informação), LOG (nível de geometria) e LOA (nível de precisão).

Ainda no contexto de BIM, tem-se a tecnologia de *digital twin*, ou gémeo digital, conceito introduzido por Michael Grieves da Universidade de Michigan em 2002, e posteriormente implementada e refinada pela NASA para simular naves espaciais. Conforme Haag e Anderl (2018), o gémeo digital é uma representação digital abrangente de um produto individual, que inclui as propriedades e comportamentos do objeto real a partir da criação de modelos e dados. Segundo Tao *et al.* (2022), o gémeo digital pode ser

usado para monitoramento, simulação, previsão e otimização a partir da manipulação de dados do modelo. Ou seja, é uma representação gráfica e precisa da entidade física, com informação paramétrica que permite realizar os serviços funcionais por meio de simulações.

No cenário da aplicação do BIM ao Património Cultural Construído, surge o conceito de HBIM - Modelagem da Informação da Construção Histórica (*Heritage Building Information Modeling*). Trata-se da modelagem de edifícios históricos com a metodologia BIM, onde são incluídos dados históricos, políticos, de conservação e de referência do património.

2.2.1 Técnicas de levantamento de edifícios existentes

No caso de edificações antigas, nem sempre é possível o acesso completo às documentações e projetos. Nestas situações, torna-se necessário o emprego de técnicas para auxiliar no levantamento completo de dados do edifício nas condições em que se encontra.

As principais técnicas de varredura digital associadas ao HBIM para a criação da nuvem de pontos são a fotogrametria e o *laser scanning*. Segundo Schenk (2005), a fotogrametria consiste na obtenção, medição e interpretação de informações referentes às propriedades de superfícies e objetos a partir de imagens fotográficas, sem que seja estabelecido contacto físico com os mesmos. Já o *laser scanning* corresponde ao uso de um dispositivo com laser para medir e digitalizar as coordenadas tridimensionais de forma automática de uma ou mais superfícies, associados a aplicativos para digitalização da estrutura em modelo 3D.

Conforme Cogima *et al.* (2020), após o levantamento de dados espaciais e documentais, prossegue-se para o processamento de dados com a criação da nuvem de pontos, visto que todos os dados obtidos precisam estar alinhados num sistema de coordenadas global. Por fim, inicia-se a etapa da criação do modelo BIM que envolve a modelagem geométrica e a atribuição de categorias e propriedades dos materiais. A Figura 11 apresenta um exemplo de uma vista de um edifício (a) e sua respetiva representação em nuvem de pontos (b), após um levantamento digital realizado por fotogrametria.

Dentro deste contexto, Fabricio (2022), em palestra de “HBIM aplicado à gestão e conservação do patrimônio” apresentou três estudos de casos de aplicação de HBIM localizados no Brasil: Casa de Vidro Lina Bo Bardi, Edifício E1 da Escola de Engenharia de São Carlos e Projeto de Pesquisa PIPAE PRP USP. Foi dado destaque ao primeiro deles, em que foi realizado inicialmente uma análise da documentação histórica, um levantamento *laser scanning* da geometria e então o desenvolvimento do modelo através da nuvem de pontos. Foram processados modelos parciais com fotogrametria de forma a complementar a informação obtida pela digitalização. Em seguida, partiu-se para a modelagem HBIM com a integração de diferentes modelos, sendo o Revit (Autodesk, 2002), para modelagem arquitetônica, e o TQS (TQS, 1986) para modelagem estrutural. O registro de patologias deu-se com a utilização de padrões de preenchimento e suas respectivas legendas, visto que não há um padrão pré-definido para esta tarefa.



a) Vista geral do edifício



b) Nuvem de pontos de fotogrametria

Figura 11 - Representação do estudo de caso do edifício Casa de Máquinas (Rocha et al., 2020)

Outro ponto relevante, é a utilização da tecnologia *laser scanning* em estruturas de patrimônio histórico. A tecnologia é utilizada para o levantamento geométrico de estruturas antigas, visto que nem sempre é possível o acesso aos projetos. No entanto, é válido ressaltar que o *laser scanning* pode também ser uma alternativa de ferramenta de inspeções. Pode-se utilizá-la para identificar e/ou levantar itens que não foram visualizados em inspeções anteriores, além de analisar possíveis deformações e flechas de determinadas estruturas.

2.2.2 Uso do BIM na reabilitação

Como o presente trabalho visa aplicar o BIM a um estudo de caso de reabilitação, neste item serão descritos trabalhos já realizados que estudaram esta aplicação de modo a verificar a eficácia das soluções.

Silva (2021) estudou a implementação da metodologia BIM num escritório de arquitetura por meio da criação de um fluxo de trabalho para um caso prático de um edifício na zona histórica de Guimarães. Inicialmente, realizou-se o levantamento geométrico da edificação existente e, posteriormente, criou-se um modelo genérico no *software* Revit. A etapa seguinte foi a realização da pormenorização dos elementos construtivos, incluindo a própria atribuição de informações. O autor utilizou o comando de fases com a distinção por cores – amarelo e vermelho - para definir o momento em que determinado elemento foi construído ou demolido, respetivamente (ver as Figuras 12 e 13).

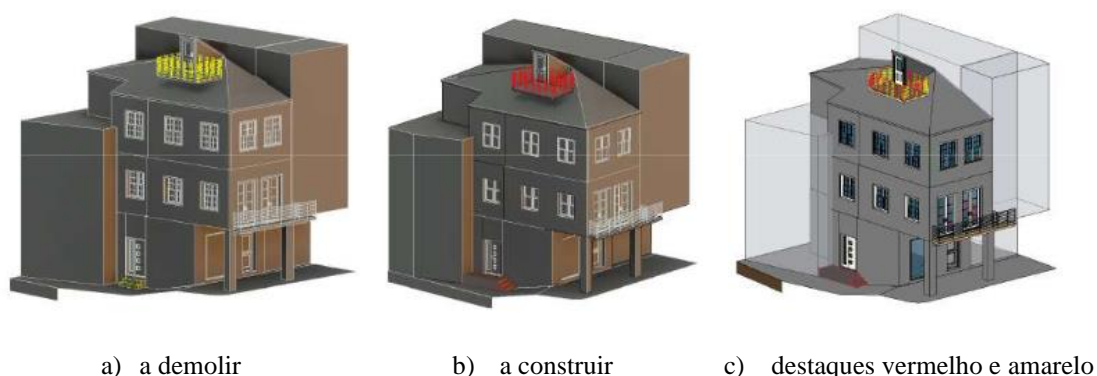


Figura 12 - Vista 3D das fachadas (Silva, 2021)

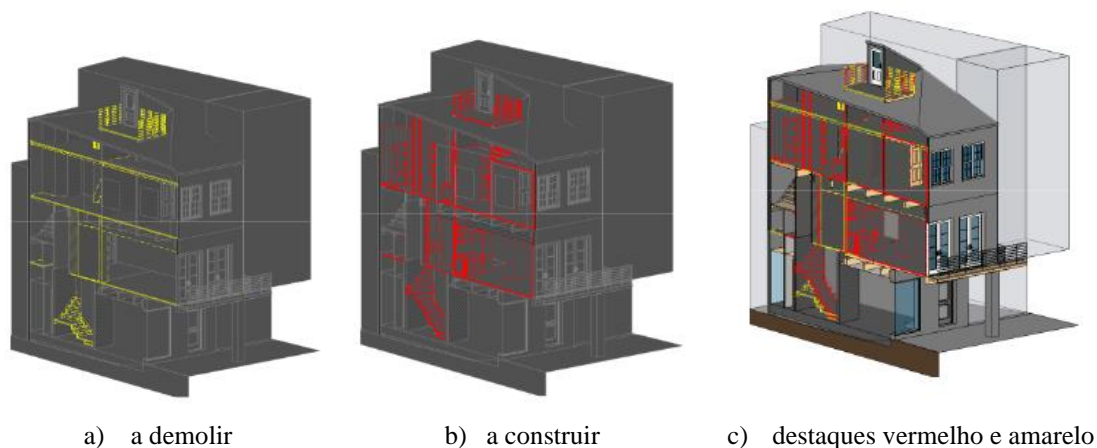


Figura 13 - Corte esquemático (Silva, 2021)

Com este estudo, foi concluído que, apesar dos gastos elevados para a implementação (como aquisição do *software* e computadores com mais memória) e especialização da equipa, a utilização do BIM possibilitou acesso a inúmeras informações referentes ao projeto, como quantidades, materiais e imagens. Destacou-se a possibilidade de visualização de diferentes fases do projeto num único modelo, com paredes a construir e demolir, de forma a tornar o processo mais eficiente. Dentre as principais vantagens da implementação do BIM, também foi dado destaque para a maior precisão do levantamento de quantitativos de materiais, construção mais económica e consistente, visualização do modelo tridimensional e facilidade em realizar modificações de projeto a partir do modelo. Além da implementação da metodologia BIM contribuir para a redução de erros e omissões em entregas, o autor também indicou que a metodologia BIM favorece uma relação mais próxima do arquiteto com o cliente pela facilidade de demonstração.

Rangel (2019) desenvolveu uma metodologia de catalogação de anomalias e materiais com o BIM, relacionando-as com os trabalhos de inspeção e diagnóstico. A autora estabeleceu uma base de informação com o *software* Excel e a linguagem VBA para exportação da informação em HTML, tendo usado a linguagem de programação visual Dynamo para realizar a interface entre a informação advinda do Excel para o Revit. As ferramentas de programação foram utilizadas com o objetivo de armazenar e catalogar informações descritivas e geométricas por meio da associação entre os programas. Além disso, a autora criou famílias no Revit de anomalia (ver a Figura 14), para betão armado, madeira e para as janelas de sondagem (ver a Figura 15) e atribuiu-lhes propriedades de parâmetros a elas.

Rangel (2019) desenvolveu uma metodologia que permitiu a troca automática dos dados do Excel e Revit com emprego da linguagem de programação, criando uma mais valia no quesito de gerenciamento e otimização da informação na fase inicial de projetos de Reabilitação, visto que a organização para armazenar informações sobre dados dos ensaios e anomalias de edifícios gerou uma boa documentação de processos para atingir o desejado. Além disso, conforme a autora, a possibilidade de aplicar a metodologia por completo resultou na otimização do tempo de trabalho e no melhor controle da informação atribuída ao modelo.

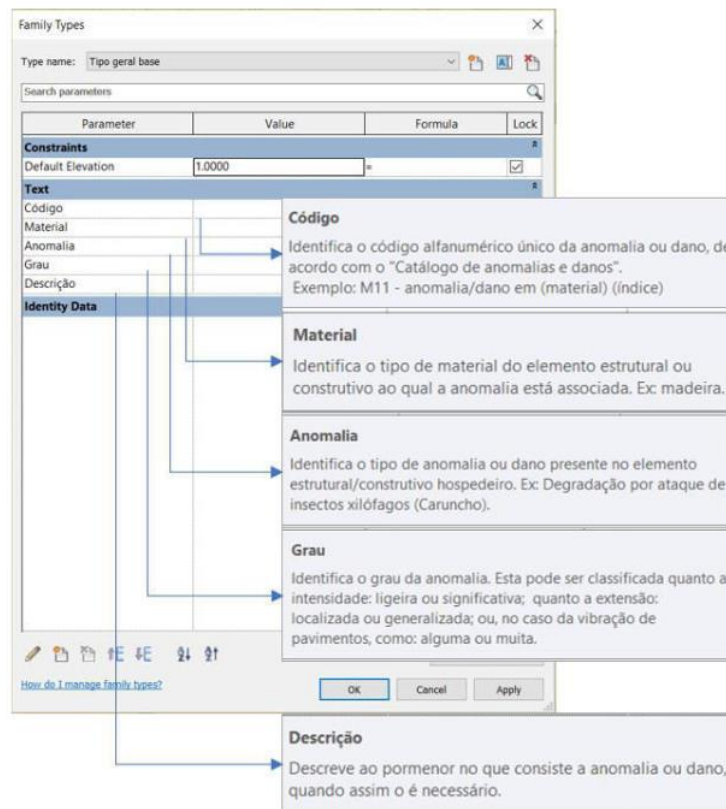


Figura 14 - Propriedades dos parâmetros tipo para os tipos da família Anomalias (Rangel, 2019)

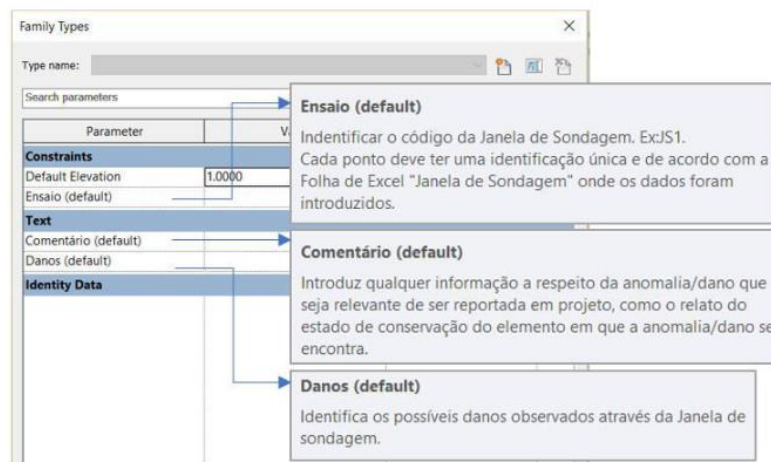
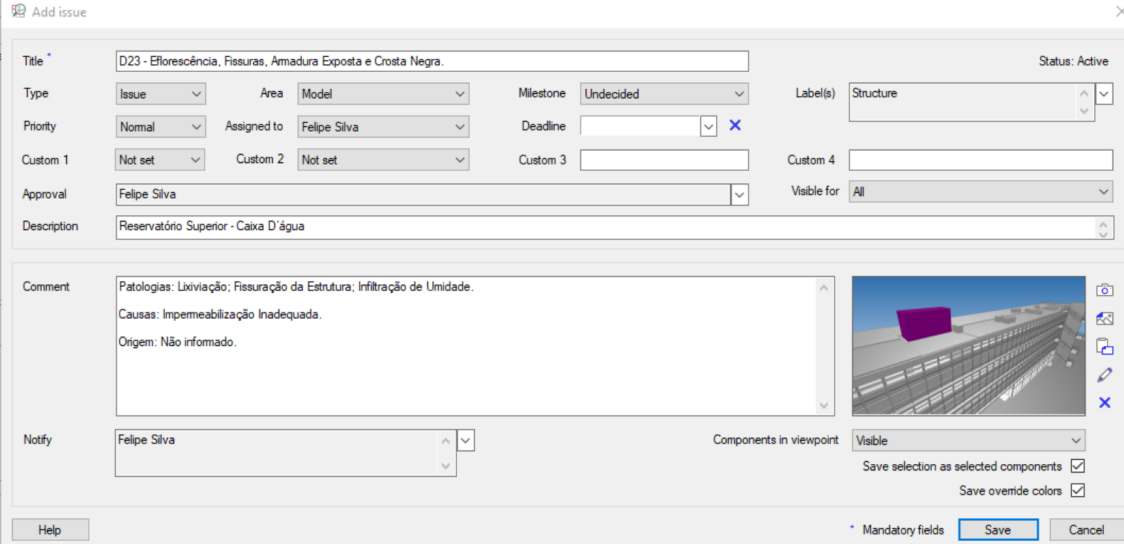


Figura 15 - Propriedade dos parâmetros de instância para a Janela de Sondagem (Rangel, 2019)

Silva (2021) também estudou a documentação de danos e patologias com o HBIM num estudo de caso do Edifício E1 da Escola de Engenharia da USP de São Carlos no Brasil, edifício que sofreu adaptações ao longo dos anos para novas funcionalidades, sendo atualmente uma edificação para usos administrativos. O modelo foi desenvolvido anteriormente no *software* Revit, que possibilitou ao autor estudar a ferramenta

BIMCollab (BIMCollab, 2012) para documentação dos dados de diagnósticos. Foi utilizada a ferramenta “Issues” do BIMCollab, que possibilitou a criação de apontamentos com recursos gráficos para registrar os danos observados com as suas respectivas informações detalhadas (ver a Figura 16). Posteriormente, realizou-se a interoperabilidade dos dados em formato *Bim Collaboration Format* (BCF) com os *softwares* Revit e Archicad 24 (Graphisoft, 1984). Este formato de dados, BCF, foi desenvolvido e concebido pela Building Smart em 2009, sendo definido como:

O BCF foi criado para facilitar comunicações abertas e melhorar processos openBIM baseados em IFC, utilizando padrões abertos (formatos de arquivo e protocolos de comunicação de dados) para identificar e trocar mais prontamente problemas baseados em modelos entre ferramentas de *software* BIM, ignorando formatos e fluxos de trabalho proprietários (Building Smart,, s.d.)



The screenshot shows the 'Add issue' dialog box in BIMCollab. The title is 'D23 - Eflorescência, Fissuras, Amadure Exposta e Crosta Negra'. The type is 'Issue', area is 'Model', milestone is 'Undecided', and label is 'Structure'. The priority is 'Normal', assigned to 'Felipe Silva', and the description is 'Reservatório Superior - Caixa D'água'. The comment field contains: 'Patologias: Lixiviação; Fissuração da Estrutura; Infiltração de Umidade. Causas: Impermeabilização Inadequada. Origem: Não informado.' There is a 3D model preview showing a purple highlighted area on a building facade. The 'Notify' field is 'Felipe Silva'. The 'Components in viewpoint' are 'Visible'. There are 'Save' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

Figura 16 – Dados associados às “Issues” do BIMCollab Zoom (Silva, 2021)

O autor concluiu que, apesar de apresentar algumas limitações de funcionalidades, foi verificada a viabilidade da utilização do BIM para o desenvolvimento de documentação do diagnóstico do Património Cultural, em alternativa ao Mapa de Danos Tradicional. Essa documentação foi inserida num modelo HBIM, que incorporou informações de diagnóstico, ensaios, estudos e inspeções com a finalidade de avaliar o estado de conservação da edificação com alguns recursos disponíveis no *plug-in* BIMCollab para o Revit.

O emprego do BIMCollab para a documentação de patologias no modelo BIM mostrou-se como uma alternativa para inserir dados de diagnóstico no modelo, de forma

a facilitar o processo de compreensão do estado de conservação da construção em análise. Apesar de ser uma ferramenta utilizada para simplificar a comunicação de projetos BIM, foram observadas algumas limitações da utilização dos sistemas BIMCollab. Foram elas: a impossibilidade de anexar documentos em outros formatos no modelo (como arquivos de vídeos e em PDF) e limitações de campos disponíveis dentro das “Issues” para inserir as informações, principalmente no caso de se tratar de projetos de grande porte onde há uma grande quantidade de informações e relatórios.

E, por fim, Lima *et al.* (2017) desenvolveram um método de produção de mapa de danos de um edifício habitacional histórico com a metodologia BIM, em que foram registradas as patologias em dois *softwares* BIM: Revit e Archicad. O comportamento dos modelos BIM elaborados a partir das duas ferramentas foi analisado comparativamente de forma a destacar as suas vantagens e limitações. Os autores utilizaram os comandos Massa no Revit, e Morph, no Archicad, para criação de modelos genéricos com os seus respectivos parâmetros para atribuir as informações de patologias aos objetos. Do ponto de vista da representação gráfica, utilizaram-se de recursos de padrões de preenchimento ou tramas para incorporar ao material a representação das patologias, conforme se pode observar na tela do Archicad na Figura 17.

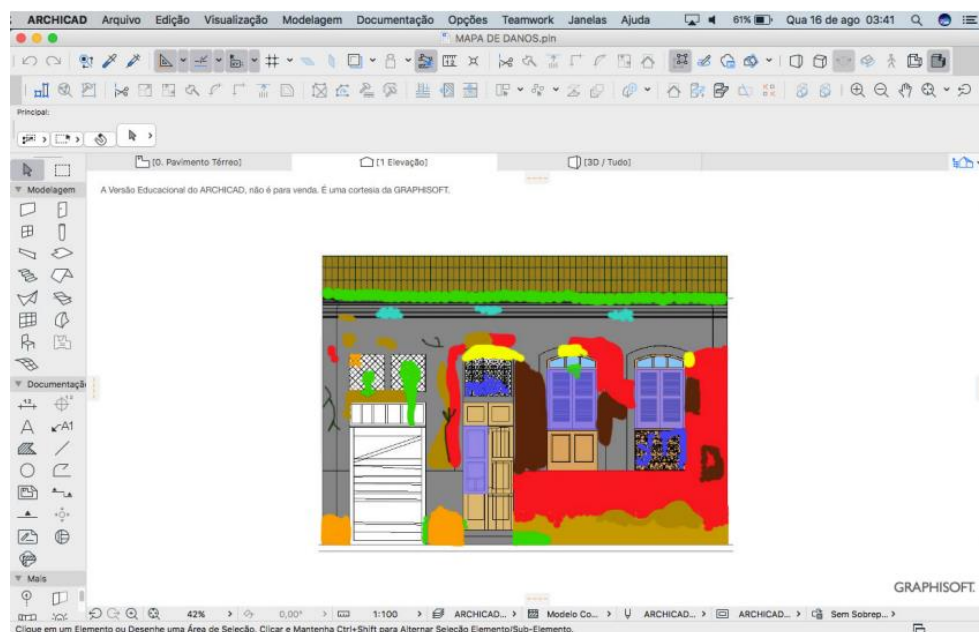


Figura 17 - Tela do Archicad com fachada e os danos modelados (Lima *et al.*, 2017)

Em relação à representação gráfica, Lima *et al.* (2017) concluíram que ambos *softwares* possuem ferramentas que permitem integrar a informação de patologias ao

modelo. Em relação à inserção de dados de patologias, ambos os *softwares* trabalharam de forma similar permitindo a inserção de informações nos parâmetros dos materiais. Na questão relacionada à modelagem visual das patologias, os resultados foram similares, apesar dos procedimentos serem diferentes.

Tanto os modelos BIM realizados no Revit como no Archicad permitiram a representação de patologias no modelo BIM e a criação de um mapa de danos. No entanto, apesar das vantagens mencionadas, foram observadas algumas limitações, como a impossibilidade de criação de formas em áreas de interseção no Revit, além da informação do dano não estar ligada ao objeto danificado, mas sim a uma parte do objeto do modelo que, apesar de não acarretar erros em relação à visualização, o uso inadequado pode acarretar possíveis erros de compatibilização e quantitativos (Lima *et al.*, 2017).

3. CASO DE ESTUDO

Neste capítulo serão apresentados a descrição da edificação e os levantamentos realizados, para posterior modelagem no *software* Revit (2023). O presente trabalho visa dar continuidade ao levantamento pormenorizado realizado por Mendonça (2023) e complementar o estudo que vem sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (DEC – ESTGV) sobre o edificado antigo em Viseu, Portugal.

O estudo realizado por Mendonça (2023) contemplou um levantamento arquitetónico e estrutural para obter-se as cotas totais dos ambientes, os materiais e componentes utilizados, bem como as dimensões dos elementos estruturais. Além disso, a autora procedeu à inspeção e diagnóstico com ensaios *in situ* para caracterizar o comportamento dos elementos estruturais e verificar o estado dos elementos de madeira.

De forma a auxiliar na análise da edificação, foram disponibilizados os projetos existentes. Do projeto de reabilitação, reconstrução e alteração de edifício, de autoria de Cecília Moreno, datados de novembro de 2019, foi possível aceder às seguintes peças desenhadas, que podem ser consultadas no Anexo A:

- Folha nº 03: Planta de piso 0;
- Folha nº 04: Planta de piso 1;
- Folha nº 05: Planta de piso 2;
- Folha nº 06: Planta de piso de sótão;
- Folha nº 07: Planta de cobertura;
- Folha nº 08: Alçado principal – Rua do Gonçalinho;
- Folha nº 09: Alçado AB – Posterior; Corte CD;
- Folha nº 10: Corte EF; Corte GH.

Além disso, foram consultadas as plantas de Mendonça (2023) após os levantamentos arquitetónicos e estruturais, sendo estas disponíveis no Anexo B.

3.1. Descrição da edificação

O edifício em questão localiza-se na Rua do Gonçalinho, nº 33 na área Crítica de Reconversão e Recuperação Urbanística, no Centro Histórico (ver a Figura 18). Trata-se

de uma habitação multifamiliar do século XIX composta por 4 pavimentos e cobertura em madeira, que se encontra desocupada e em estado de deterioração. A Figura 19 apresenta os alçados principal e posterior da edificação em estudo, respetivamente.



Figura 18 - Localização do edifício em estudo (Google Maps, 2024)



a) Alçado principal



b) Alçado posterior

Figura 19 - Alçados do edifício em estudo

A partir de uma análise inicial das fotografias, percebe-se que o edifício se encontra em estado de deterioração, visto a presença de sujidades, desenvolvimento de bolores e vidros partidos no alçado principal. Além disso, nota-se o estado crítico da cobertura que se encontra com parte da estrutura colapsada no alçado posterior (ver Figura 19b), que dificultou o acesso para o levantamento geométrico e estrutural. A estrutura do alçado posterior em que não foram realizados os levantamentos é apresentada na Figura 20.

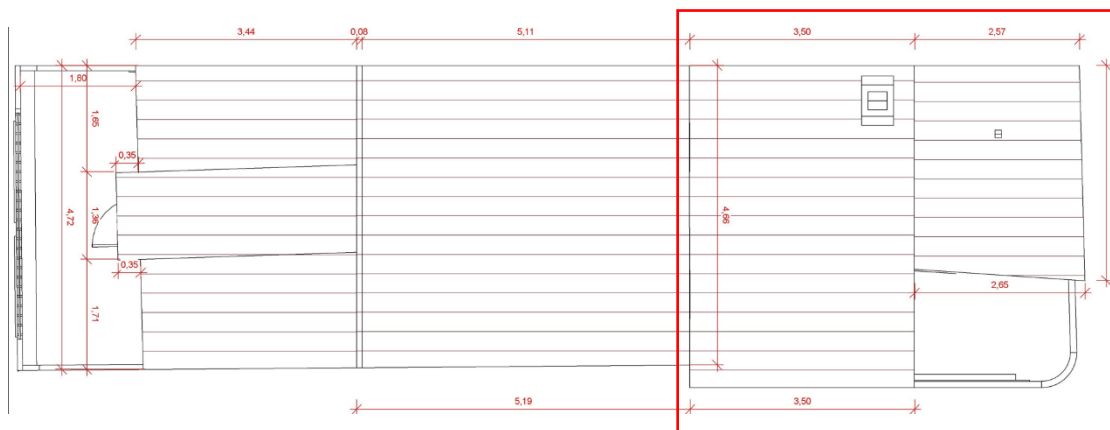


Figura 20 - Planta da cobertura com destaque na estrutura colapsada

O edifício possui dimensões de aproximadamente 5,00 m de largura por 11,00 m de comprimento. Além disso, conforme o levantamento geométrico realizado, as áreas úteis totais dos pisos 0, 1, 2 e 3 são de 209,76, 192,27, 143,15 e 44,27 m², respetivamente.

No dia 27 de fevereiro de 2024, realizou-se uma visita técnica no local para fins de inspeção da edificação, análise dos elementos que a compõem e validação das informações apresentadas por Mendonça (2023). É válido ressaltar que, em função das condições de acesso limitadas ao local, os levantamentos anteriormente realizados foram fundamentais para a análise detalhada e posterior modelagem em BIM.

Os materiais construtivos existentes no alçado principal são apresentados na Figura 21.

A edificação em estudo encontra-se com seus elementos construtivos em estado de degradação e com manifestações patológicas presentes, como fissurações e fendilhações com evoluções progressivas (ver a Figura 22). As características da estrutura bem como os danos observados mostraram-se coerentes com aqueles documentados por Mendonça (2023).

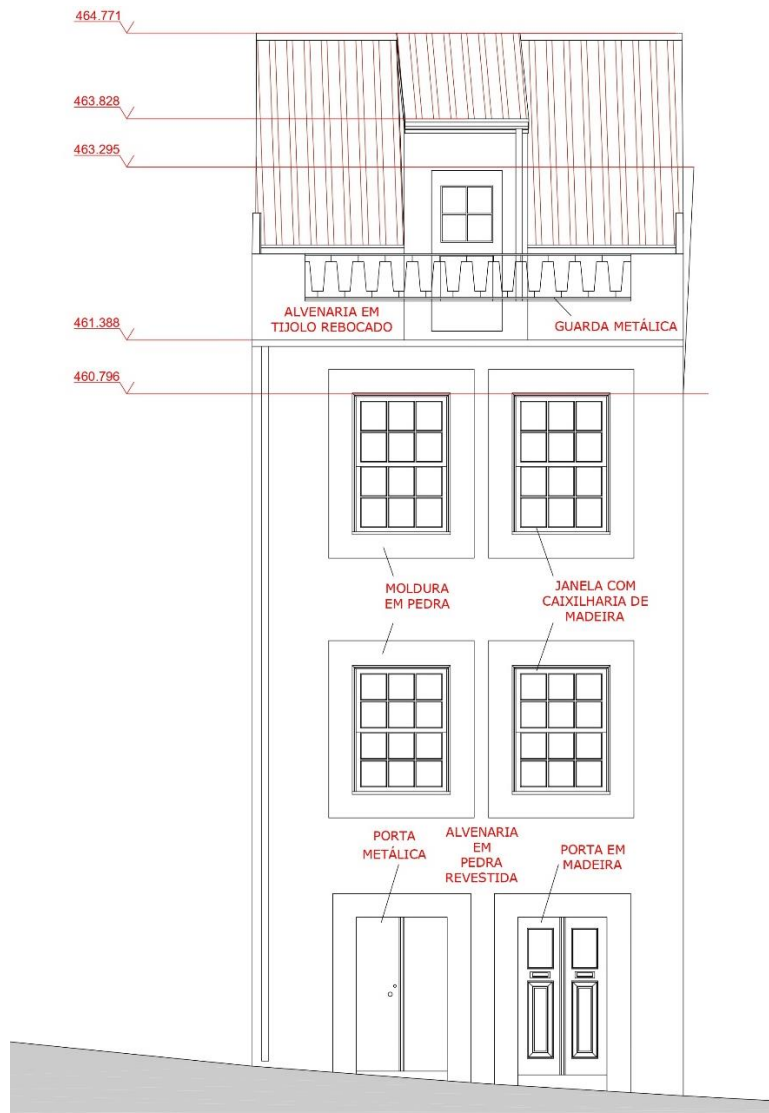


Figura 21 - Alçado principal com indicação dos materiais construtivos (Moreno, 2019)



Figura 22 - Parede com fendilhões e fissurações (Mendonça, 2023)

Em relação às envolventes, observou-se que nos dois pavimentos inferiores (designados por pisos 0 e 1) as paredes externas são de alvenaria de pedra revestida com argamassa, conforme apresentado na Figura 23.

Já nos dois pavimentos superiores (designados por pisos 2 e 3) as paredes externas principais são de tijolo maciço revestido com argamassa de terra e cal (ver a Figura 24), e tijolo maciço revestido com cimento e cal, respetivamente. As paredes internas (divisórias) são de tabique de tabuado simples (ver a Figura 25), compostas por tábuas e ripas de madeira *Pinus* de secção retangular fixadas com pregos metálicos, com enchimento de argamassa tradicional. Os materiais de enchimento são diferentes ao longo dos pisos, sendo de argamassa terrosa com palha nas paredes de tabique dos pisos 1 e 2, e argamassa terrosa sem palha no piso 3.



Figura 23 - Piso 0 com parede externa de alvenaria de pedra (Mendonça, 2023)



Figura 24 - Vista interior da parede de tijolo maciço com argamassa de terra e cal do piso 2

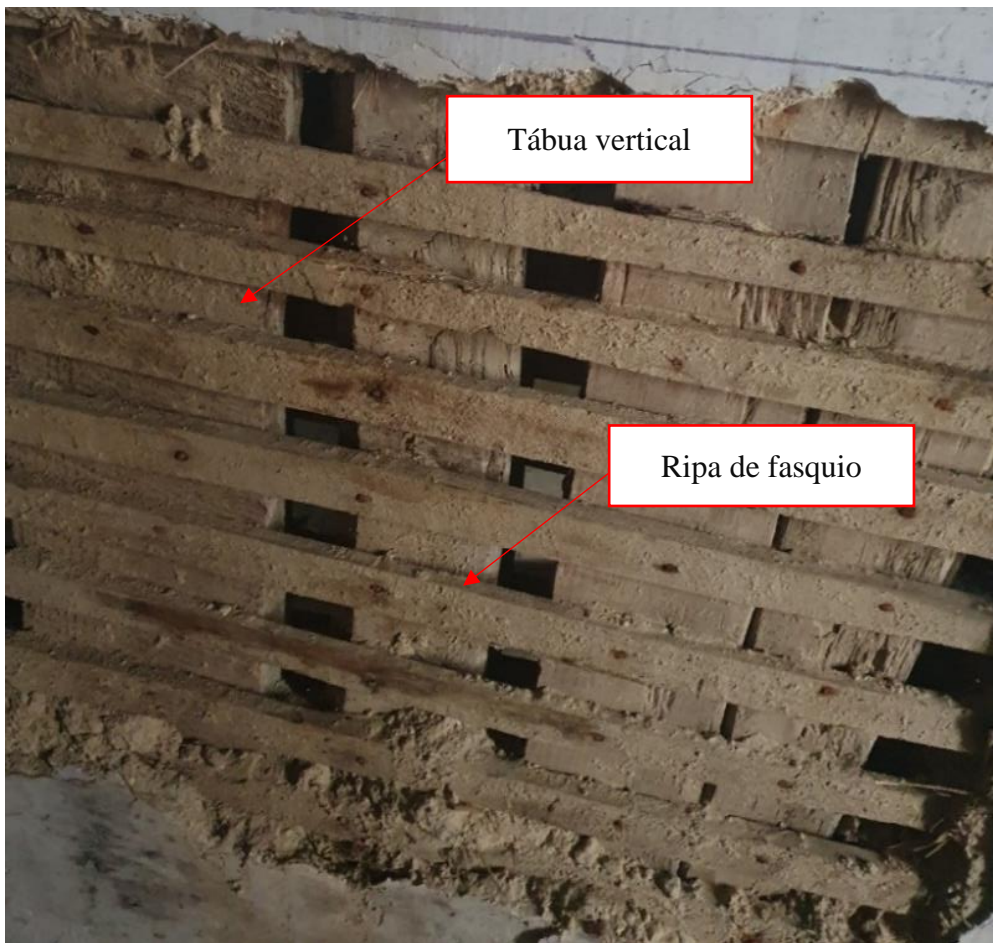


Figura 25 - Parede de tabique com indicação dos seus elementos principais

A partir do levantamento geométrico pormenorizado realizado nas paredes de tabique, em que foram criadas janelas de inspeção e removidas as argamassas de enchimento e de revestimento para as medições, os resultados das dimensões dos elementos de madeiras constituintes das paredes de tabique foram agrupados na Tabela 3.

No que diz respeito à configuração dos pavimentos de madeira, estes são compostos de vigas principais que se apoiam nas paredes do edifício, de vigas secundárias (as quais se apoiam nas vigas principais), soalho de madeira e forro de madeira, conforme as imagens apresentadas na Figura 26 e o pormenor construtivo da Figura 27.

Tabela 3 - Dimensões dos elementos de madeira das paredes de tabique (adaptado de Mendonça, 2023).

PT	Modelo	Piso	Tábuas verticais (cm)			Ripas de fasquio (cm)		
			Largura	Espessura	Espaçamento	Largura	Espessura	Espaçamento
4.1	T2S	1	19,80	3,75	2,39	3,53	1,71	4,04
5.1	T2S	1	15,96	4,54	3,98	2,98	1,20	3,59
6.1	T2S	1	16,03	4,50	2,33	3,56	1,21	3,49
8.1	T2S	1	14,22	4,10	2,30	3,28	1,10	3,50
3.2	T2S	2	18,06	3,36	2,73	3,12	1,04	2,81
4.2	T2S	2	14,04	3,99	2,84	2,80	1,08	3,39
5.2	T2S	2	19,17	4,33	3,01	3,10	1,10	3,49
6.2	T2S	2	17,58	3,95	3,45	3,10	1,07	3,39
10.2	T2S	2	17,51	4,25	2,89	3,49	1,13	3,74
7.2	T2S	2	15,21	3,51	2,69	2,94	1,00	3,30
8.2	T2S	2	19,13	4,73	2,85	3,43	1,16	3,79
9.2	T2S	2	12,60	3,66	3,80	3,23	1,11	3,17
11.2	T2S	2	13,75	4,20	3,88	3,23	0,91	3,53
2.3	T2S	3	15,40	4,34	3,79	3,16	1,25	4,44
11.3	T2S	3	19,20	4,20	2,43	3,30	1,08	4,01
4.3	T2S	3	17,65	2,63	1,28	2,99	1,21	3,86
6.3	T2S	3	22,19	3,45	2,31	2,85	1,24	3,68
7.3	T2S	3	13,18	3,96	2,36	3,11	0,94	3,41
8.3	T2S	3	14,50	3,63	3,30	3,28	0,98	3,35
9.3	T2S	3	17,81	3,74	1,68	3,62	0,94	3,17
12.3	T2S	3	15,81	3,09	1,95	2,94	1,13	3,71
10.3	T2S	3	18,73	3,00	3,09	2,95	1,15	3,88



a) Vista superior



b) Vista inferior

Figura 26 - Configuração dos pavimentos

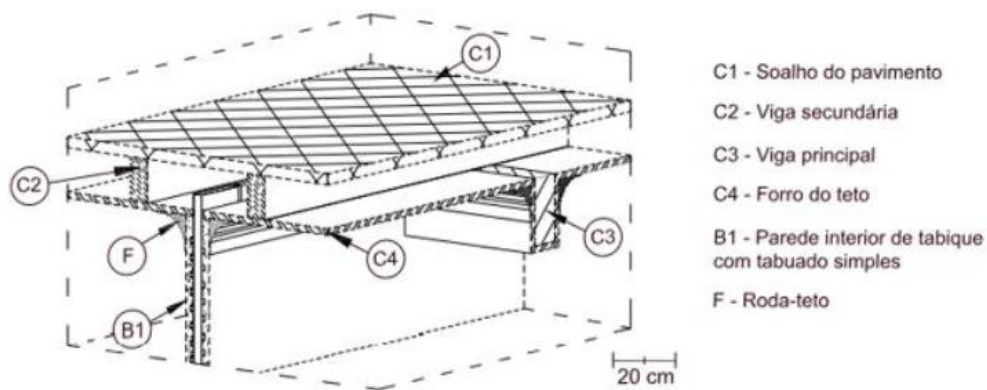


Figura 27 - Solução construtiva dos pavimentos de madeira (Pinto apud Mendonça, 2023)

Além disso, na edificação há uma escada, constituída por um lance reto de degraus do piso 0 ao piso 1 e por lances de degraus em leque do piso 1 ao piso 2 e do piso 2 ao piso 3, respetivamente. A estrutura das escadas é de madeira, conforme apresentado na Figura 28.



a) Lance reto

b) Lance em leque

Figura 28 – Escadas de madeira

Por fim, como se observou que nos projetos disponibilizados apenas estão representadas as águas da cobertura e, durante a visita técnica, não foi possível o acesso

à cobertura, admitiu-se que esta é constituída de uma estrutura em madeira revestida com telhas cerâmicas. Supôs-se que a cobertura seja constituída por ripas que dão suporte às telhas e, que por sua vez, se apoiam em asnas de madeira ligadas às paredes de alvenaria de tijolo maciço e às paredes de tabique. A cobertura é composta por quatro águas de telhado no total, sendo duas delas inclinadas para a parte posterior e as outras duas para a fachada principal.

3.2. Estado de conservação dos elementos construtivos

A inspeção realizada por Mendonça (2023) englobou desde uma inspeção preliminar para demarcação das janelas de inspeção na superfície dos elementos até um levantamento exaustivo e pormenorizado para determinação das dimensões gerais e análise do estado de conservação dos elementos construtivos da edificação. As informações obtidas foram fundamentais para posterior criação do modelo BIM. É válido ressaltar que as paredes de tabique inspecionadas foram designadas por parede de tabique (PT) juntamente com o número da parede e identificação do piso, tendo-se seguido a mesma nomenclatura na modelagem BIM.

Na edificação em estudo, foi constatada a presença de patologias, como fendilhação e fissuração nas paredes devido às mudanças higroscópicas, que originaram variações dimensionais devido às movimentações dos materiais. Além disso, notou-se a presença de manchas de humidade, empolamento, escorrências, sujidades e bolores nas superfícies das paredes decorrentes de infiltrações de águas pluviais. E, também, a presença de água na estrutura juntamente com a movimentação dos materiais provocaram o destacamento do reboco do revestimento das paredes. Foram constatados outros danos na edificação, como descamação da tinta, apodrecimento da caixilharia, desalinhamento da fiada das telhas e degradação da rede de águas pluviais na cobertura, que comprovam o estado de deterioração grave dos elementos construtivos. Destas, as patologias existentes no edifício que serão trabalhadas no modelo BIM são destacamento da argamassa, fendilhação, manchas de humidade e sujidades, conforme apresentadas na Figura 29.

Com o objetivo de avaliar o estado de conservação dos elementos, Mendonça (2023) realizou ensaios *in situ*, nomeadamente de *Resistograph* nas madeiras das paredes

de tabique, vibração ambiental nos pavimentos e avaliação do teor de água nos revestimentos de argamassa.



a) Destacamento do reboco



b) Fendilhação



c) Manchas de humidade



d) Sujidade

Figura 29 – Algumas das patologias constatadas na edificação (Mendonça 2023)

Com o ensaio *Resistograph* nas madeiras das paredes de tabique foi possível avaliar a integridade do elemento e localizar os anéis de primavera e outono na madeira

a partir do gráfico de "valor do *Resistograph*" no eixo das ordenadas, e a profundidade da peça ensaiada, nas abcissas. Os resultados da classificação quanto ao estado de conservação do elemento de madeira são: em bom estado, ligeiro estado e estado de degradação avançado, para valores superiores a 50%, entre 25% e 50% e valores inferiores a 25%, respetivamente. A Figura 30 apresenta um exemplo de um gráfico do *Resistograph* num elemento de madeira, com as cores verde, amarelo e vermelho correspondentes aos três estados de conservação. Na Tabela 4 apresentam-se os valores *Resistograph* (VR) do ensaio nas paredes de tabique.

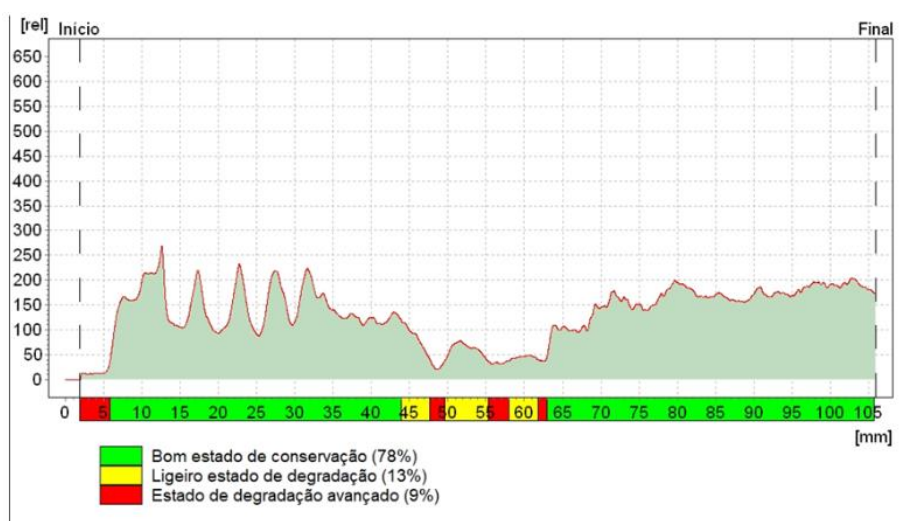


Figura 30 - Exemplo de gráfico obtido num ensaio com *Resistograph* (Mendonça, 2023)

Tabela 4 - Resultado do *Resistograph* nas paredes de tabique (adaptado de Mendonça, 2023)

PT	Piso	Espessura das tábuas (cm)	Valor médio (VR)
5.1	1	4,54	157
8.1	1	4,10	224
3.2	2	3,36	82
4.2	2	3,99	200
5.2	2	4,33	151
8.2	2	4,73	182
10.2	2	4,25	170
11.2	2	4,20	172
2.3	3	4,34	180
6.3	3	3,45	219
10.3	3	3,00	237
11.3	3	4,20	171

A avaliação do teor de água (%) das argamassas de revestimento das paredes de tabique foi efetuada através do ensaio com humidímetro. O procedimento deu-se com a

criação de uma malha com 50 quadrículas distribuídas em 10 linhas e 5 colunas, em que os resultados permitiram obter-se o gráfico de distribuição do teor em água na superfície do revestimento, conforme o exemplo da PT 9.1 apresentado na Figura 31. Os resultados dos valores do teor de água (%) obtidos com o humidímetro na superfície da argamassa de revestimento das paredes de tabique ensaiadas são apresentados na Tabela 5.

21,0	22,4	21,6	22,0	20,2
19,0	20,5	20,4	20,9	20,9
19,9	20,9	20,3	19,0	19,9
19,9	17,6	18,9	18,7	17,5
18,2	17,9	18,6	17,2	18,2
18,9	17,9	17,9	18,6	14,6
17,5	18,1	17,9	16,9	17,5
16,3	17,9	18,3	16,6	18,9
13,1	13,5	13,8	13,7	13,3
12,8	13,7	13,5	13,5	19,2

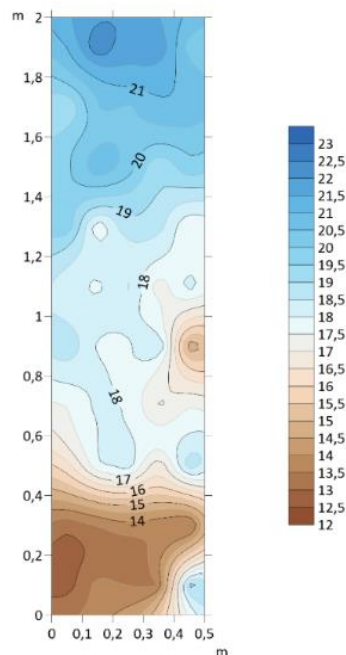


Figura 31 - Valores do teor em água na superfície do revestimento da PT 9.1 (Mendonça 2023)

Tabela 5 - Resultados do teor em água (%) na argamassa de revestimento das paredes de tabique (Mendonça, 2023)

PT 9.1					PT 5.2					PT 6.3				
21,0	22,4	21,6	22,0	20,2	19,2	18,5	17,9	2,1	19,0	12,9	13,3	13,9	13,9	14
19,0	20,5	20,4	20,9	20,9	19,8	17,4	19,3	19,7	19,6	13,8	13,1	13,8	14,0	13,2
19,9	20,9	20,3	19,0	19,9	19,2	17,1	17,7	19,1	19,0	13,5	13,2	12,6	13,3	13,5
19,9	17,6	18,9	18,7	17,5	18,7	18,5	18,9	19,9	19,7	12,9	13,5	13,3	12,5	13,4
18,2	17,9	18,6	17,2	18,2	19,0	19,6	19,6	19,0	19,4	13,8	13,8	13,3	13,6	14,3
18,9	17,9	17,9	18,6	14,6	17,7	19,0	19,0	19,2	18,0	12,9	14,2	13,0	14,4	13,2
17,5	18,1	17,9	16,9	17,5	19,8	18,9	19,4	19,4	18,8	13,9	12,5	12,8	13,7	14,4
16,3	17,9	18,3	16,6	18,9	18,0	18,5	18,8	18,9	18,5	13,0	12,6	13,3	13,7	15,3
13,1	13,5	13,8	13,7	13,3	18,5	18,5	18,8	18,8	18,3	12,0	12,0	13,3	12,3	14,7
12,8	13,7	13,5	13,5	19,2	20,3	18,0	19,4	18,9	19,7	13,8	13,8	12,7	13,8	14,7

Em relação aos pavimentos de madeira, foi realizado o ensaio de vibração ambiental que permitiu obter as frequências próprias do pavimento em 3 direções. Os resultados do ensaio permitiram obter o gráfico exemplificado na Figura 32, associado ao primeiro modo de vibração nas direções longitudinal, transversal e vertical juntamente com as imagens do pavimento ensaiado. Os resultados obtidos deste ensaio são apresentados, resumidamente, na Tabela 6.



Figura 32 - Exemplo de gráfico resultante do ensaio de vibração ambiental no pavimento (Mendonça, 2023)

Tabela 6 - Resultados do ensaio de vibração ambiental: modo de vibração na direção vertical (Mendonça, 2023)

Ensaio	Piso	Localização	Vão (m)	Frequência experimental (Hz)
S1.1	1	Teto do piso 0	3,71	16,97
S1.2	2	Teto do piso 1	2,6	22,83
S1.3	3	Teto do piso 2	2,09	20,14
S2.3	3	Teto do piso 2	3,32	23,32

As informações obtidas com o levantamento geométrico e ensaios realizados nos elementos construtivos por Mendonça (2023) foram consideradas na criação do modelo BIM do edifício e do posterior mapeamento da inspeção e diagnóstico inseridos no modelo BIM.

4. CRIAÇÃO DO MODELO BIM

O presente capítulo visa apresentar as etapas que foram seguidas para a criação do modelo BIM, utilizando-se o *software* Revit versão 2023 (Autodesk, 2002). Antes da modelagem do edifício, realizou-se uma análise inicial dos projetos já existentes. As etapas de modelagem da edificação em estudo em BIM são apresentadas no fluxograma da Figura 33.

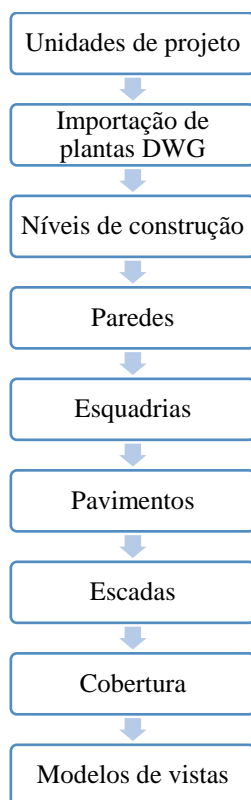


Figura 33 - Fluxograma das etapas de modelagem em BIM

O início do desenvolvimento do modelo BIM deu-se com a definição das unidades de medida do projeto e determinação dos níveis da construção. Como o Revit é um *software* BIM que permite realizar o reconhecimento de diferentes formatos de arquivos, as plantas arquitetônicas e estruturais foram importadas do CAD para o Revit em formato DWG, de forma a ter uma base da criação dos elementos respeitando as cotas totais e os compartimentos.

De maneira geral, realizou-se a modelagem de elementos genéricos, sem detalhamentos e caracterizações, apenas com as respectivas dimensões para melhor

visualização do modelo tridimensional e, posteriormente, as características foram atribuídas.

4.1. Modelagem das paredes

As paredes de alvenaria de pedra foram criadas com o comando de “massa no local”, pertencentes à categoria de “paredes”, em função da sua irregularidade. Após a delimitação da área das paredes, criou-se a extrusão dos elementos e atribuiu-se o material de “pedras, assentamento tipo soldado natural” disponível na biblioteca do *software*, ver a Figura 34.

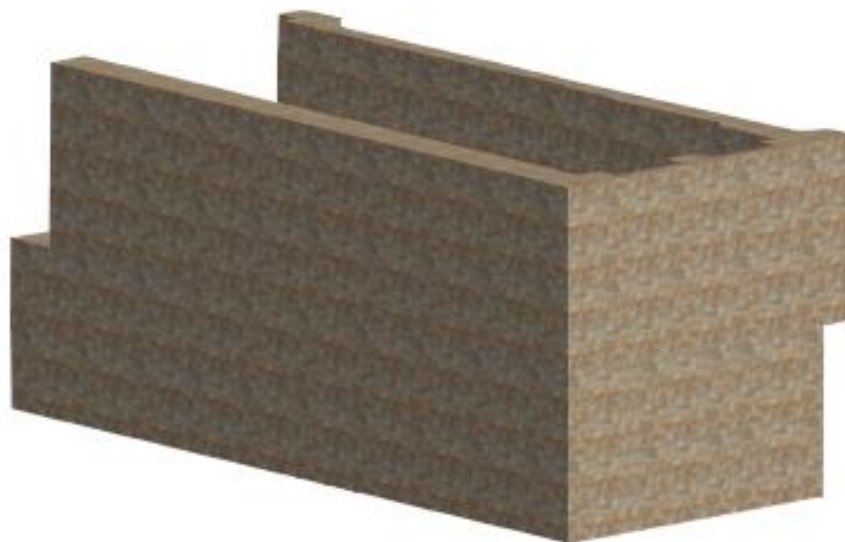


Figura 34 - Paredes de alvenaria de pedra na vista 3D

Em seguida, procedeu-se à criação das paredes de alvenaria de tijolo maciço presentes no alçado principal. Para isso, utilizou-se o comando de “Parede” para criação das famílias de parede de alvenaria de tijolo maciço com argamassa de terra e cal (piso 2) e de parede de alvenaria de tijolo maciço com argamassa de cimento (piso 3). Como a modelagem do edifício, no presente trabalho, se destina ao desenvolvimento de famílias de objetos para o armazenamento de dados provenientes das inspeções e diagnóstico do estado dos elementos, não se detalharam os tipos de argamassas (cal e cimento). Desse modo, para ambas as paredes foram especificados os materiais de tijolo maciço e de reboco interior e exterior com as suas devidas espessuras, conforme exemplificado para a parede de alvenaria de tijolo de 300 mm, representado na Figura 35.

Editar montagem

Família: Parede básica
 Tipo: Alvenaria tijolo maciço - 300 mm
 Espessura total: 0,3000 (Padrão)
 Resistência (R): 0,5242 (m²·K)/W
 Massa térmica: 397,92 kJ/(m²·K)

Altura da amostra: 6,0000

Camadas

LADO EXTERNO						
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural	Variável
1	Camada da membrana	Pintura externa	0,0000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Estrutura [1]	Concreto, Faixa de areia/cimento	0,0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Limite do núcleo	Camadas acima da virada do revesti	0,0000			
4	Estrutura [1]	Tijolo maciço	0,2650	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Limite do núcleo	Camadas abaixo da virada do revesti	0,0000			
6	Estrutura [1]	Concreto, Faixa de areia/cimento	0,0150	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

LADO INTERNO

Inserir Excluir Acima Abaixo

Figura 35 – Configuração da parede de alvenaria de tijolo de 300 mm

Ainda na criação de paredes, a próxima etapa foi desenvolver as paredes de tabique, tanto exteriores como interiores. Num primeiro momento considerou-se a possibilidade de modelar a parede de tabique com painéis cortinas, visto que é possível a criação de tábuas, ripas com espaçamentos definidos e determinação de um material de enchimento de forma a se assemelhar a uma parede de tabique, como se ilustra na Figura 36.



a) Fotografia da parede de tabique *in situ*



b) Parede de tabique modelada em BIM

Figura 36 - Representação das paredes de tabique

No entanto, observou-se que esse procedimento traria algumas dificuldades, nomeadamente a criação de diversos painéis cortinas com diferentes espessuras de tábuas e ripas sobrecarregaria o modelo BIM. Além disso, notaram-se eventuais erros de modelagem nas junções das paredes, ainda mais por se tratar de um edifício antigo que não possui simetria ou alinhamento das paredes, visto que a representação das junções das paredes modeladas em painéis cortinas ficariam sobrepostas e não com a intersecção correta.

Então, atendendo às possíveis dificuldades técnicas que seriam encontradas, procedeu-se à criação das paredes de tabique de forma simplificada com o comando de “Parede”. Criaram-se paredes de espessuras variando de 100 a 180 mm, sendo as suas camadas compostas de estrutura de madeira *Pinus* e acabamento com argamassa, que foram posicionadas respeitando-se as cotas dos compartimentos, com o auxílio do projeto arquitetónico importado.

4.2. Modelagem dos vãos

Em seguida, buscou-se posicionar os vãos do alçado principal nas paredes já criadas. Para isso, importou-se uma família de janelas disponível na biblioteca *online* BIMobject e ajustou-se as dimensões para se assemelharem às janelas do alçado principal. Além disso, foram criadas famílias de portas paramétricas para as duas portas exteriores do mesmo alçado, com o objetivo de tornar o alçado principal do modelo mais próximo da realidade. O procedimento de modelagem das portas deu-se com a criação de famílias de portas. Após definir os parâmetros das dimensões, criaram-se os detalhes arquitetónicos.

A Figura 37 apresenta uma das portas criadas com os respetivos comandos utilizados para o seu desenvolvimento. Além disso, utilizou-se o comando de “Varredura” para a criação das guarnições das portas e janelas, visto que a ferramenta permite criar um elemento que pode varrer um objeto ao longo de um caminho fechado. É válido ressaltar que foi criada uma família separadamente para a caixa de correios presente em uma das portas e, posteriormente, foi carregada no projeto da família da porta.

Os parâmetros referentes à família das portas são apresentados na Figura 38, sendo que alguns deles, como a largura e a altura bruta foram estabelecidos com base em fórmulas, visto que dependem das dimensões da largura e da altura, respetivamente.

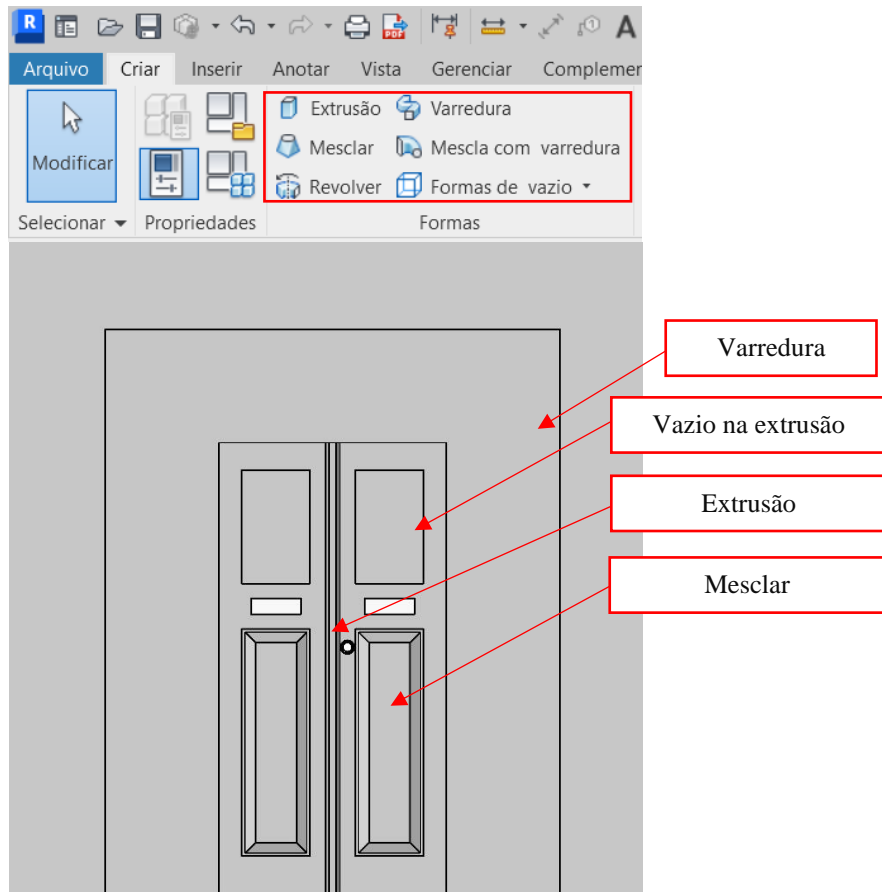


Figura 37 - Comandos utilizados para a criação da família de porta paramétrica

Tipos de famílias

Digite o nome: 1000 x 1735 mm

Parâmetros de pesquisa

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
Dimensões			
Largura bruta	1040,0	=Largura + 40 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Altura bruta	2020,0	=Altura + 20 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Altura	2000,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Largura	1000,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Largura da estrutura	50,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Espessura	=	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Propriedades analíticas			
Parâmetros IFC			
Dados			
Outros			
Altura painel inferior	1000,0	=0,5 * Altura	<input checked="" type="checkbox"/>
Altura painel vidro	500,0	=0,25 * Altura	<input checked="" type="checkbox"/>
Largura moldura externa	500,0	=	<input type="checkbox"/>
Largura moldura interna	100,0	=	<input type="checkbox"/>
Largura da apara	70,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Espessura da apara	10,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Largura da moldura do painel	50,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Espessura da moldura do painel	40,0	=	<input checked="" type="checkbox"/>

Gerenciar tabelas de pesquisa...

OK Cancelar Aplicar

Figura 38 - Parâmetros da família de portas

Ressalta-se que a criação de famílias paramétricas de portas foi fundamental para o desenvolvimento do trabalho, visto que posteriormente o conhecimento e

procedimentos adotados foram essenciais para a catalogação dos dados obtidos no diagnóstico e sua implementação no modelo BIM.

Com os vãos do alçado principal modelados e importados, partiu-se para a criação da moldura destes. Em relação às portas, a moldura foi criada juntamente com as suas famílias. E a moldura das janelas foi criada com um modelo genérico de varredura em que foi posicionada na face das paredes, de forma a contornar a janela. O modelo BIM com os passos até então executados é apresentado na Figura 39.

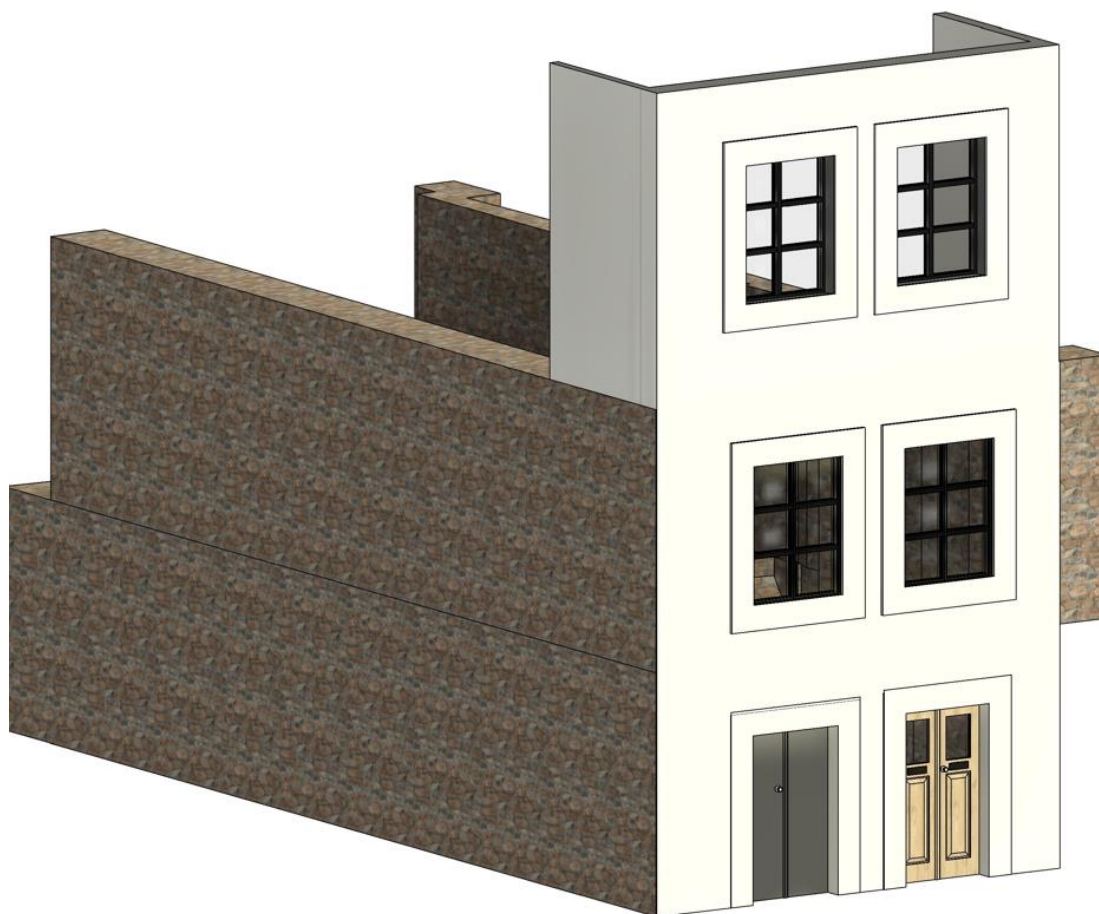
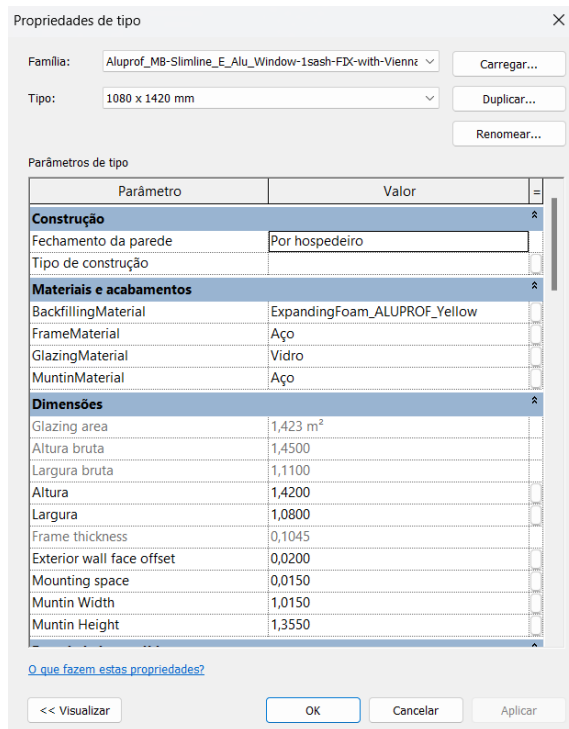


Figura 39 - Modelo com as paredes de pedra e os vãos do alçado principal

Após posicionadas as paredes interiores e exteriores de tabique, inseriram-se os vãos no modelo BIM. As portas e janelas foram importadas da biblioteca *online* BIMobject (Figura 40) e o material de madeira *Pinus* e as dimensões, como altura e largura, foram editadas nas propriedades de tipo do material, conforme o projeto arquitetônico.



a) Biblioteca online BimObject



b) Exemplo das propriedades do objeto importado para o Revit

Figura 40 - Importação de janela (BIMObject, 2024)

O modelo tridimensional com as paredes interiores e exteriores criadas e com os vãos posicionados é apresentado na Figura 41.

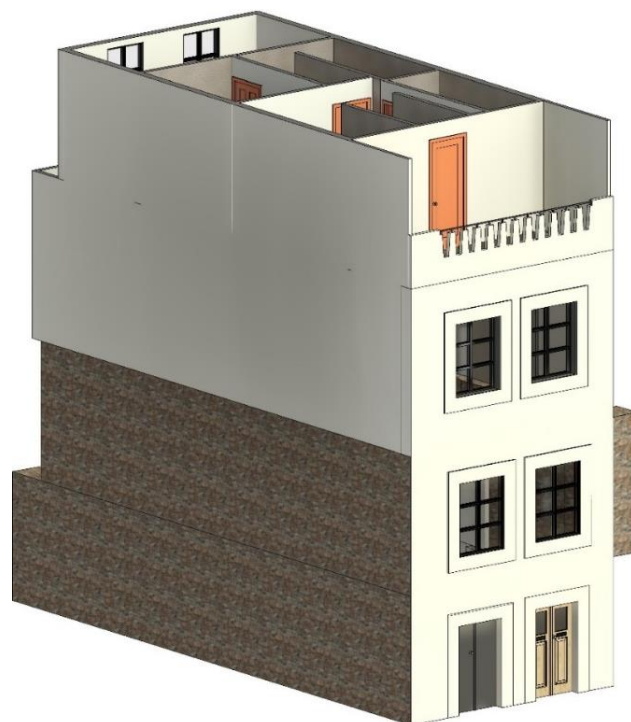


Figura 41 - Modelo BIM com as paredes e vãos

4.3. Modelagem dos pavimentos

A próxima etapa foi modelar os pavimentos de madeira da edificação, sendo eles compostos por um soalho de 2,5 cm, vigas de madeira e forro de teto em tabuado de madeira com espessura média de 2,0 cm, conforme o pormenor construtivo anteriormente apresentado na Figura 26.

Primeiramente utilizou-se da ferramenta de criação de pisos para delimitar a área de cada pavimento, estabelecer o material de madeira *Pinus* e a espessura de 2,5 cm. Com o auxílio da caixa de corte na vista 3D, foi possível visualizar tridimensionalmente o soalho modelado, conforme apresentado na Figura 42.

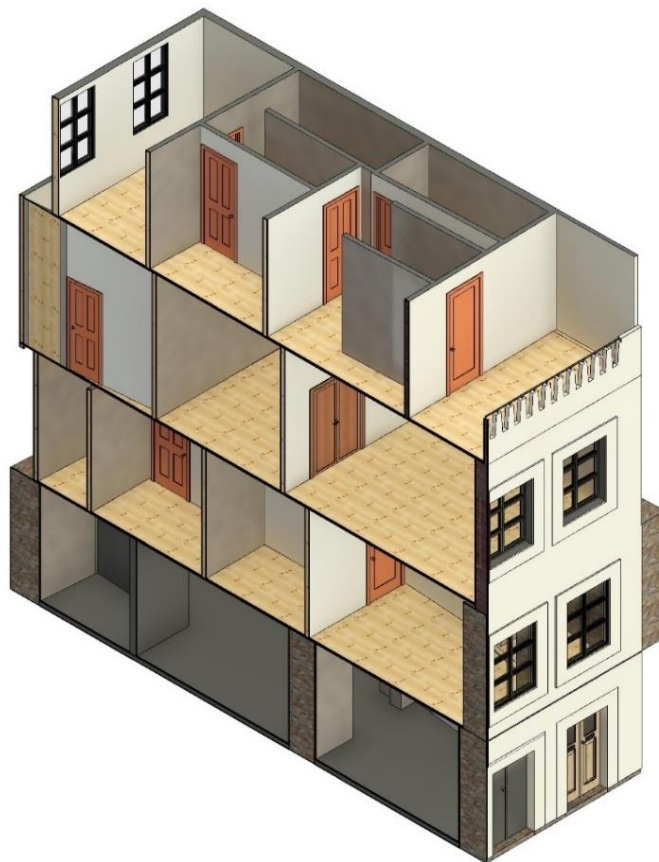


Figura 42 - Modelo 3D com o soalho de madeira

Nas plantas estruturais disponíveis no navegador de projeto, realizou-se a modelagem das vigas de madeira de cada pavimento. Para isso, realizou-se novamente a importação, dessa vez das plantas estruturais, do CAD para o Revit para respeitar as dimensões e posições das vigas. As vigas foram criadas com o comando de “Viga” na aba de estruturas do Revit, tendo-se utilizado a família de viga de madeira de lei, disponível na biblioteca do Revit, como base para a atribuição das características geométricas. Após

o posicionamento das vigas, foram definidos os deslocamentos verticais necessários para posicionar as vigas secundárias que se apoiam na viga principal e que servem de suporte para o soalho.

Para finalizar a estrutura dos pavimentos, foram colocados os forros de madeira na “Planta de forro” do navegador de projeto do Revit. A modelagem do forro foi realizada por croqui, selecionando-se as linhas interiores dos compartimentos. Nas propriedades do forro, foi atribuída a espessura de 2,0 cm e o material de madeira *Pinus*. Na Figura 43 apresenta-se um exemplo dos elementos do pavimento do piso 3 modelados no BIM.

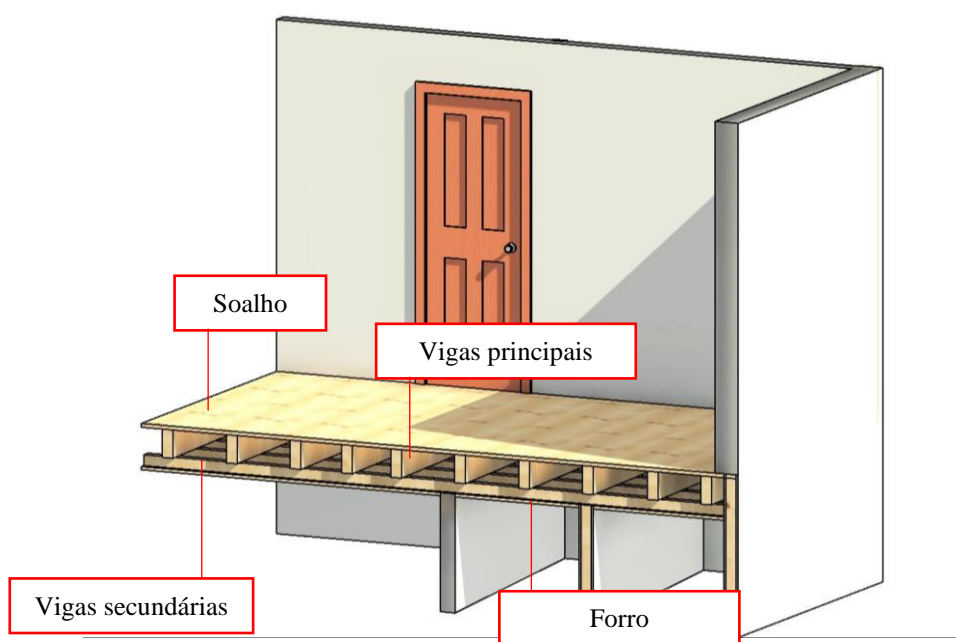


Figura 43 – Modelagem do pavimento do piso 3

A representação dos pavimentos com o soalho, vigas e forro, em corte, é apresentada nos pormenores das Figuras 44, 45 e 46. Nota-se que o pavimento do piso 2 apresenta uma configuração da estrutura diferente dos demais, sendo que o soalho de madeira é apoiado em tábuas de madeira, que por sua vez estão ligadas às vigas secundárias.

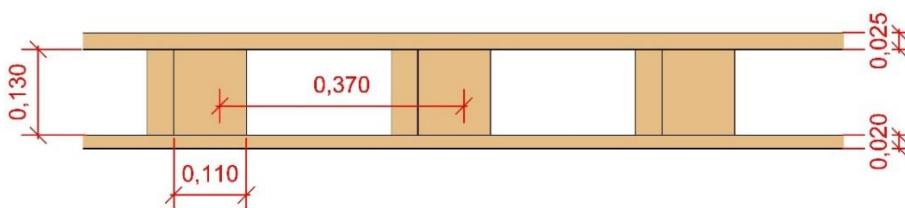


Figura 44 - Detalhe da estrutura do pavimento do piso 1

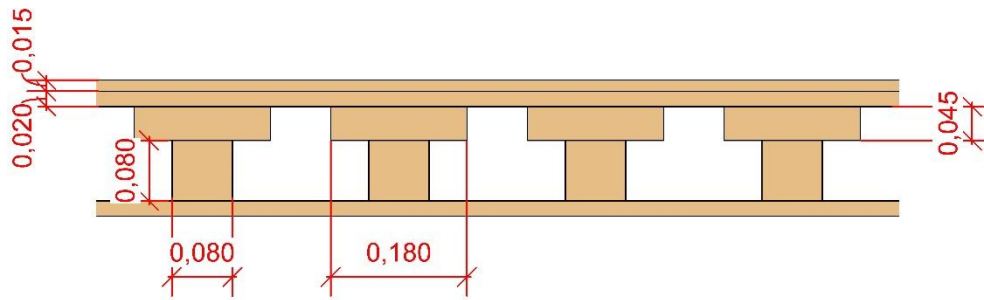
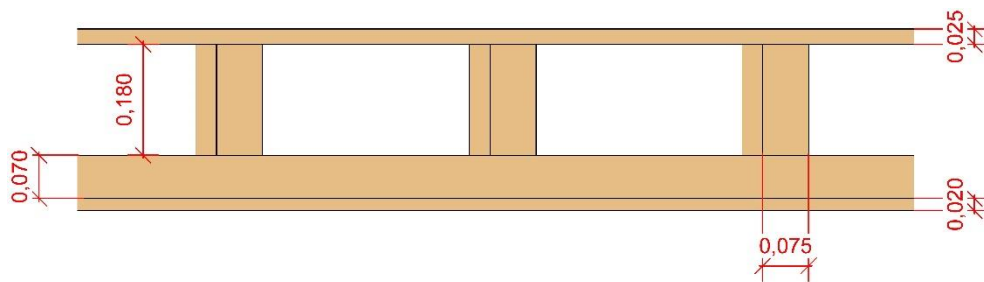
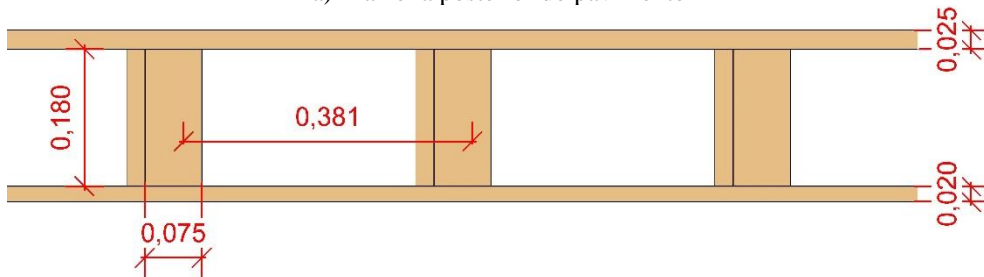


Figura 45 – Detalhe da estrutura do pavimento do piso 2



a) na zona posterior do pavimento



b) na restante área do pavimento

Figura 46 – Detalhe da estrutura pavimento do piso 3

A fim de obter-se uma representação das plantas estruturais semelhantes àsquelas realizadas por Mônica (2023), utilizaram-se os filtros para definir um padrão de visibilidade para as vigas nas plantas estruturais, diferenciando-as com cores (ver a Figura 47).

Nome	Ativar filtro	Visibilidade	Projeção/Superfície			Cortar		Meio-tom
			Linhas	Padrões	Transparência	Linhas	Padrões	
Vigas 21 x 14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 18 x 7,5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 6 x 7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 30 x 10	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 8 x 8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Parede pedra	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Tábua 4,5 x 18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 13 x 11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 15 x 8	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Vigas 10 x 7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Figura 47 - Padrão de visibilidade com filtros para vigas

As Figuras 48 e 49 apresentam a planta estrutural do pavimento do piso 1, sendo a primeira realizada por Mendonça (2024) e, a segunda, criada no Revit. As demais plantas estruturais são apresentadas no Apêndice B.

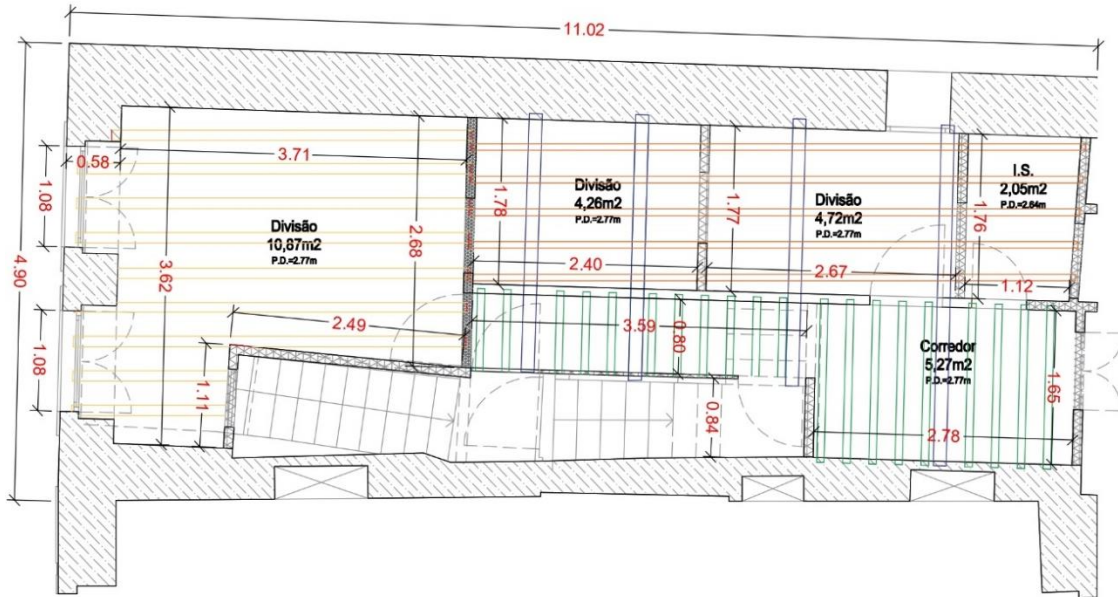


Figura 48 - Planta estrutural do pavimento do piso 1 (Mendonça, 2023)

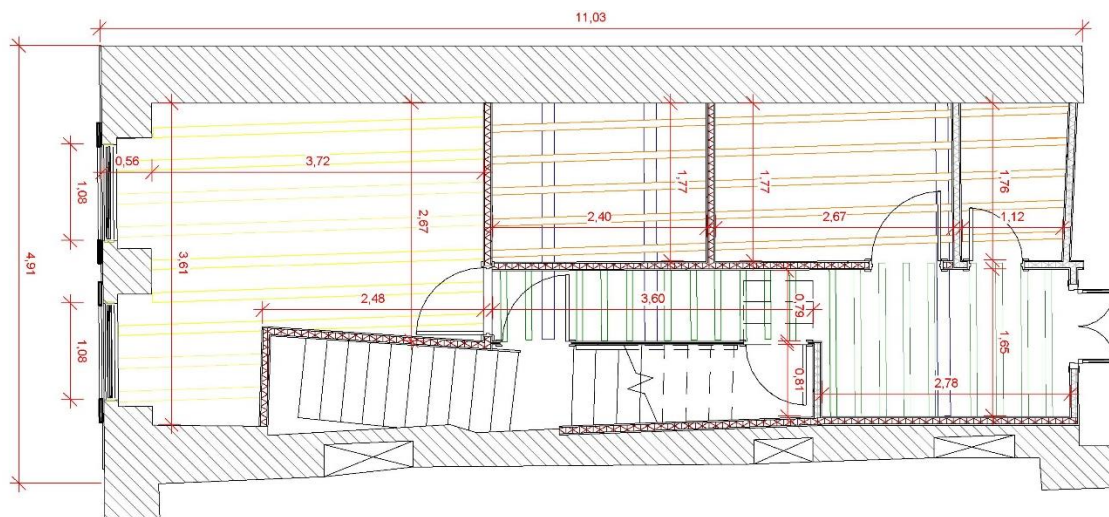


Figura 49 - Planta estrutural do pavimento do piso 1 no BIM

4.4. Modelagem das escadas

Com as paredes e pavimentos modelados no BIM, procedeu-se à criação das escadas nas “Plantas de piso”, tendo-se utilizado a ferramenta de criação de croqui de escada para delimitá-la, determinar a quantidade de espelhos e o caminho a ser percorrido.

Utilizou-se o comando de aberturas de *shaft* para realizar a abertura no piso para a escada e realizar a conexão entre os pavimentos.

Com os elementos arquitetônicos e estruturais modelados, atribuíram-se padrões de preenchimento para o primeiro plano no padrão de corte do elemento, de forma a seguir a nomenclatura designada por Mendonça (2023) quanto às paredes de tabique (PT) inspecionadas, padrões de preenchimento em marrom, e não inspecionadas, padrões de preenchimento em cinza. Além disso, criou-se uma família de identificadores com o parâmetro de “Marca” para nomear as paredes de tabique. Esta família permitiu a atribuição da nomenclatura da parede no campo “Marca” nas propriedades e inserir o identificador da categoria na planta arquitetônica. A nomenclatura foi realizada com a sigla “PT” (parede de tabique) seguida do número da parede para utilização dos identificadores de categoria nas paredes. A Figura 50 apresenta o campo de propriedades da parede seguida da representação gráfica na planta.

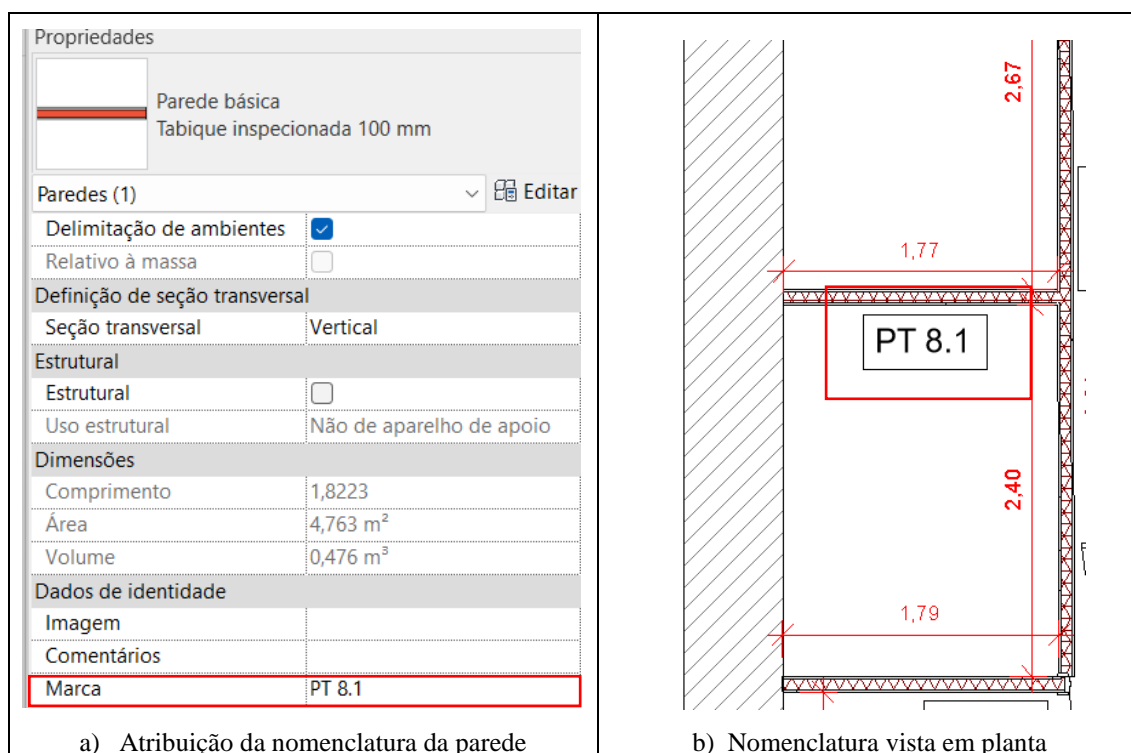


Figura 50 - Nomenclatura da parede de tabique

As Figuras 51 e 52 apresentam as plantas arquitetônicas obtidas por Mendonça (2023) e as modeladas no Revit, respetivamente. As demais plantas arquitetônicas podem ser consultadas no Apêndice A e no Anexo B com a nomenclatura das paredes de tabique.

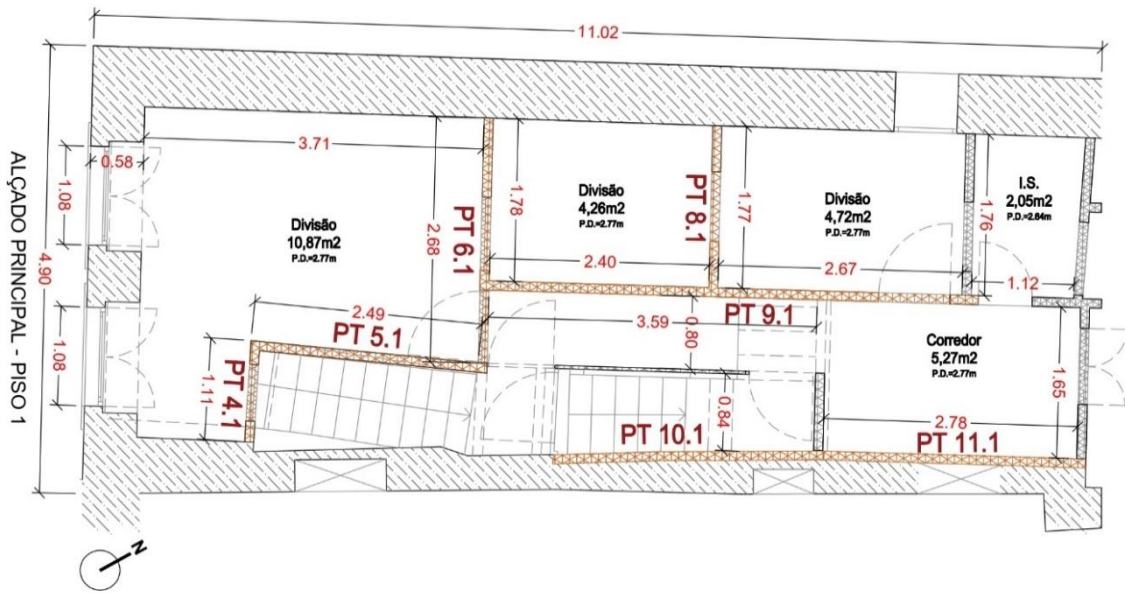


Figura 51 - Planta arquitetônica do piso 1 (Mendonça, 2023)

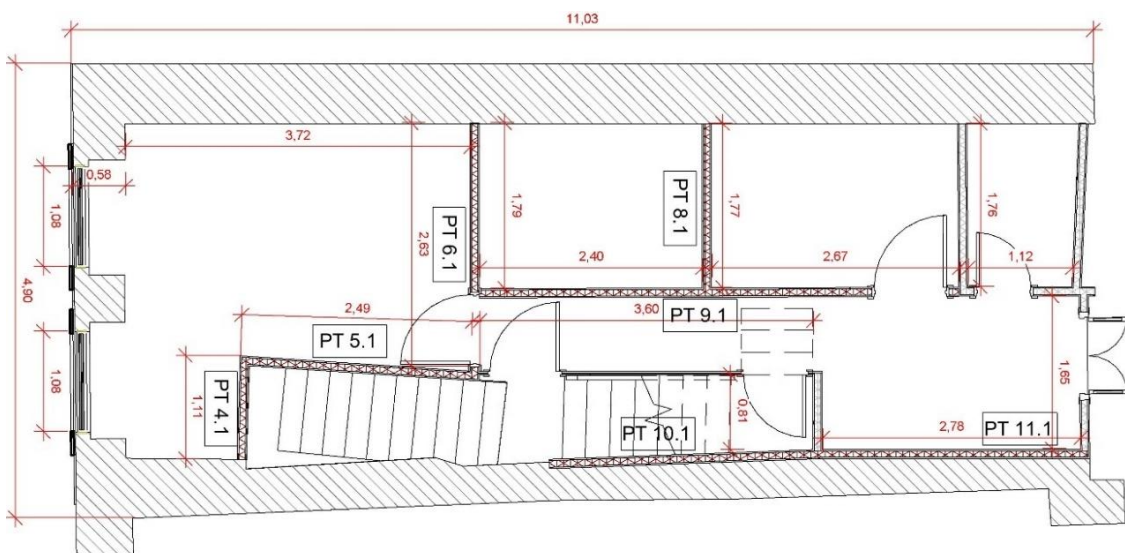


Figura 52 - Planta arquitetônica do piso 1 no Revit

4.5. Modelagem da cobertura

Por fim, partiu-se para a modelagem da cobertura, sendo que se supôs que esta é composta por uma estrutura em madeira revestida com telhas cerâmicas. Nesse sentido, foram modelados no total quatro águas de telhado, sendo duas inclinadas para a parte posterior e as outras duas para a fachada principal.

A estrutura da cobertura foi criada com a família do sistema de vidraça inclinada, em que se criaram tipos de ripas, caibros e terças. Para isso, utilizou-se a família de

montantes retangulares disponível na biblioteca do Revit, tendo-se ajustado as medidas, espessura, deslocamento do perfil e material. Este procedimento foi realizado para a definição dos montantes de terça, caibro e ripa. Em seguida, foram criados telhados genéricos por perímetro, em que foram desenhados os croquis, delimitados os perímetros e estabelecidas as faces que determinam a inclinação. A próxima etapa foi atribuir o sistema de vidraça inclinada aos telhados correspondentes à estrutura da cobertura e carregar as famílias de montantes retangulares para as vidraças inclinadas de terça, caibro e ripa, respetivamente. As propriedades como espaçamentos e montantes de eixos foram ajustadas, conforme se apresenta nas Figuras 53, 54 e 55.

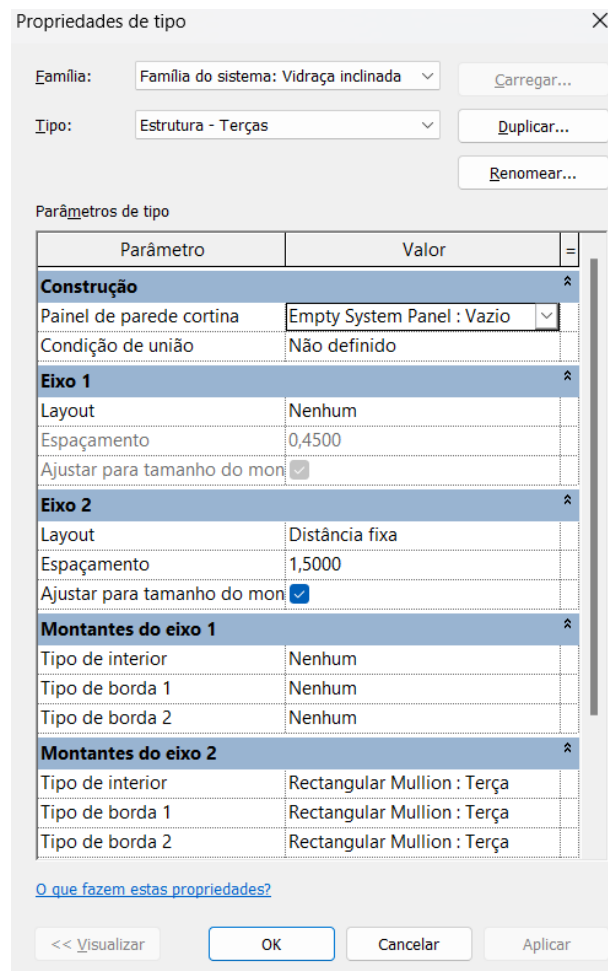


Figura 53 - Propriedades do tipo das terças

Em relação ao revestimento de telha cerâmica, criaram-se também telhados genéricos por perímetro, definiu-se a espessura de 40 mm e atribuiu-se o material de “Telhado cerâmico” disponível na biblioteca do Revit.

Propriedades de tipo

Família: Família do sistema: Vidraça inclinada Carregar...

Tipo: Estrutura - Caibros Duplicar... Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor
Construção	
Painel de parede cortina	Empty System Panel : Vazio
Condição de união	Não definido
Eixo 1	
Layout	Espaçamento máximo
Espaçamento	0,6000
Ajustar para tamanho do mon	<input checked="" type="checkbox"/>
Eixo 2	
Layout	Nenhum
Espaçamento	0,6000
Ajustar para tamanho do mon	<input checked="" type="checkbox"/>
Montantes do eixo 1	
Tipo de interior	Rectangular Mullion : Caibro
Tipo de borda 1	Rectangular Mullion : Caibro
Tipo de borda 2	Rectangular Mullion : Caibro
Montantes do eixo 2	
Tipo de interior	Nenhum
Tipo de borda 1	Nenhum
Tipo de borda 2	Nenhum

[O que fazem estas propriedades?](#)

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Figura 54 - Propriedades do tipo dos caibros

Propriedades de tipo

Família: Família do sistema: Vidraça inclinada Carregar...

Tipo: Estrutura - Ripas Duplicar... Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor
Construção	
Painel de parede cortina	Empty System Panel : Vazio
Condição de união	Não definido
Eixo 1	
Layout	Nenhum
Espaçamento	0,4500
Ajustar para tamanho do mon	<input checked="" type="checkbox"/>
Eixo 2	
Layout	Espaçamento máximo
Espaçamento	0,4000
Ajustar para tamanho do mon	<input checked="" type="checkbox"/>
Montantes do eixo 1	
Tipo de interior	Nenhum
Tipo de borda 1	Nenhum
Tipo de borda 2	Nenhum
Montantes do eixo 2	
Tipo de interior	Rectangular Mullion : Ripa
Tipo de borda 1	Rectangular Mullion : Ripa
Tipo de borda 2	Nenhum

[O que fazem estas propriedades?](#)

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Figura 55 - Propriedades do tipo das ripas

Após a modelagem da cobertura, as paredes do piso 3 foram anexadas ao topo. A estrutura do telhado modelada no *software* é apresentada na Figura 56. É válido ressaltar que, possivelmente, a estrutura das terças se apoia em asnas que se ligam às paredes. No entanto, realizou-se uma modelagem genérica visto que não foi possível o acesso à cobertura devido ao estado de deterioração desta estrutura.

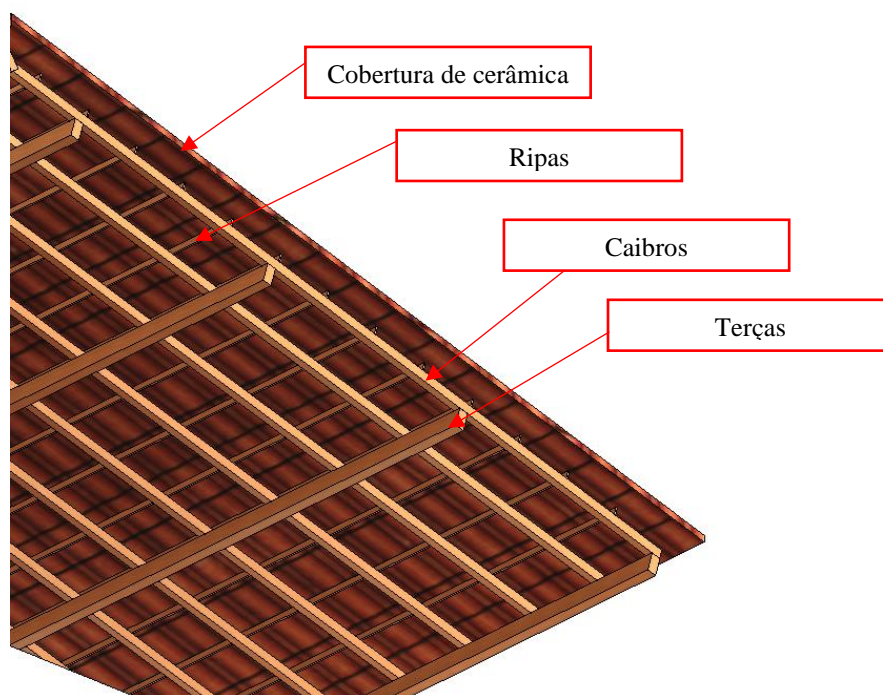


Figura 56 - Estrutura do telhado e revestimento no Revit

Por fim, com a modelagem no Revit dos elementos arquitetônicos e estruturais finalizada, foi possível visualizar o edifício por completo tridimensionalmente, conforme se ilustra na Figura 57.

Para facilitar a visualização das plantas arquitetônicas, estruturais e de pormenor, optou-se pela criação de modelos de vistas nos Dados de Identidade na paleta de propriedades das vistas (ver a Figura 58). Esta ferramenta foi fundamental para determinar-se estilos visuais para padronizar as vistas e as propriedades a serem incluídas, como escalas, os detalhes, gráficos e elementos das vistas.

Após todos os procedimentos de modelagem BIM e ajustes dos gráficos com os modelos de vista, foram exportadas as imagens das plantas arquitetônicas, estruturais, localização dos ensaios de vibração ambiental, alçados e perspectivas, que podem ser consultadas nos Apêndices A, B, C, D e E.

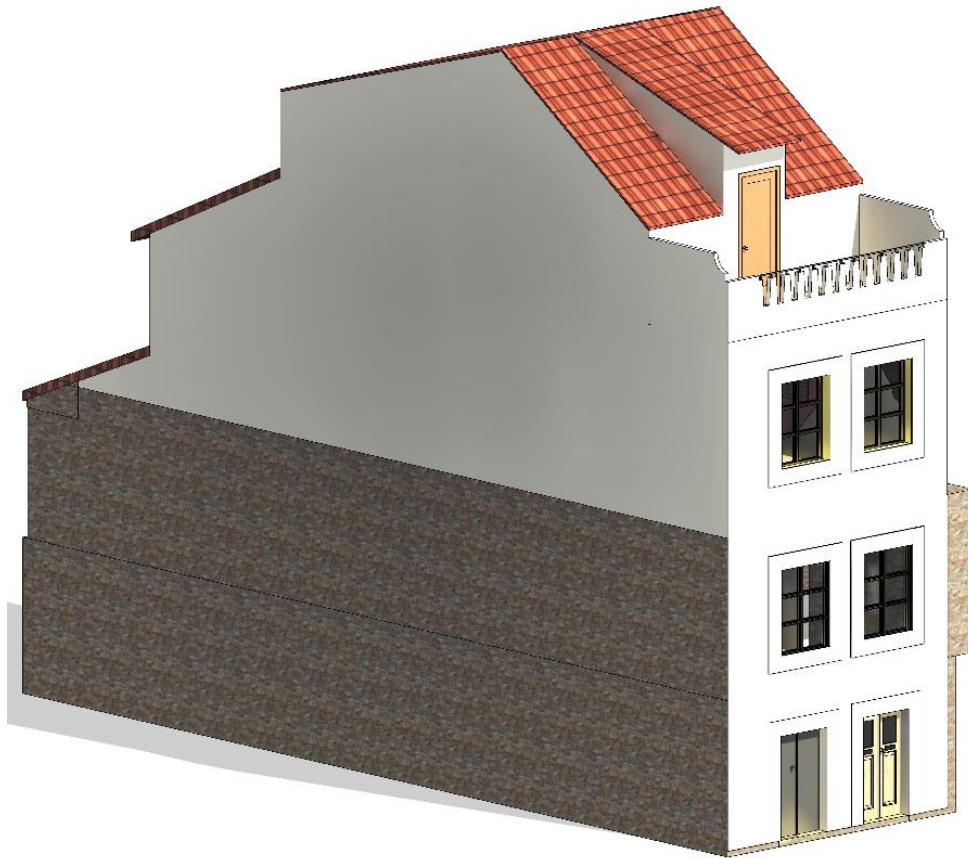


Figura 57 – Perspetiva isométrica do edifício no Revit

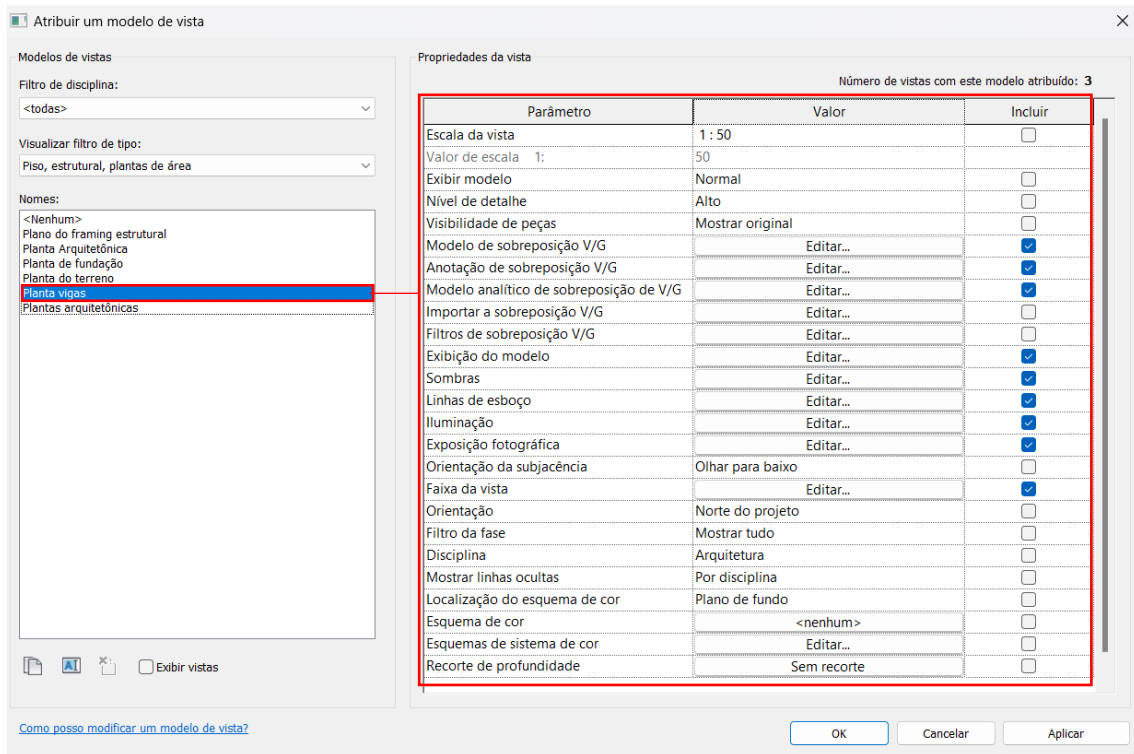


Figura 58 - Janela de criação de modelo de vista

A modelagem em BIM, utilizando-se o *software* Revit, foi fundamental para a visualização das plantas arquitetônicas e estruturais, além de acompanhar o desenvolvimento do edifício tridimensionalmente. O desenvolvimento da pesquisa no Revit permitiu que aprofundasse os conhecimentos do *software*, visto que não possuía o conhecimento prévio de todas as funcionalidades utilizadas, como por exemplo a atribuição dos modelos de vistas e utilização de diferentes filtros nas vistas.

5. CATALOGAÇÃO DOS DADOS DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO NO MODELO BIM

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos de inserção dos dados referentes à inspeção e diagnóstico realizados no edifício em estudo e documentação das anomalias. Neste sentido, após os dados levantados por Mendonça (2023), organizaram-se as informações a serem trabalhadas conforme observado no fluxograma da Figura 59. Nota-se que as informações de inspeção e diagnóstico foram trabalhadas de duas maneiras distintas: com a criação de famílias para armazenar as informações obtidas com levantamento geométrico e ensaios realizados, tanto nas estruturas como nos materiais, e com a utilização do *plug-in* BIMCollab, como apresentado por Silva (2021), para armazenar informações no modelo referentes às patologias.

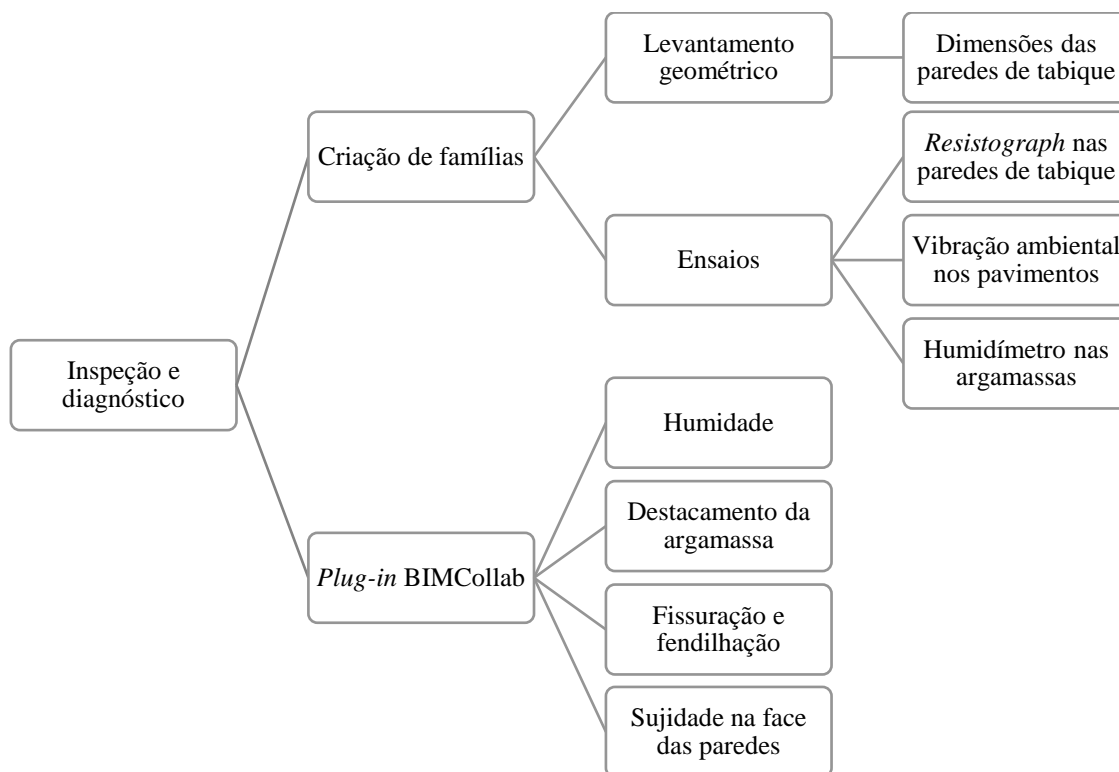


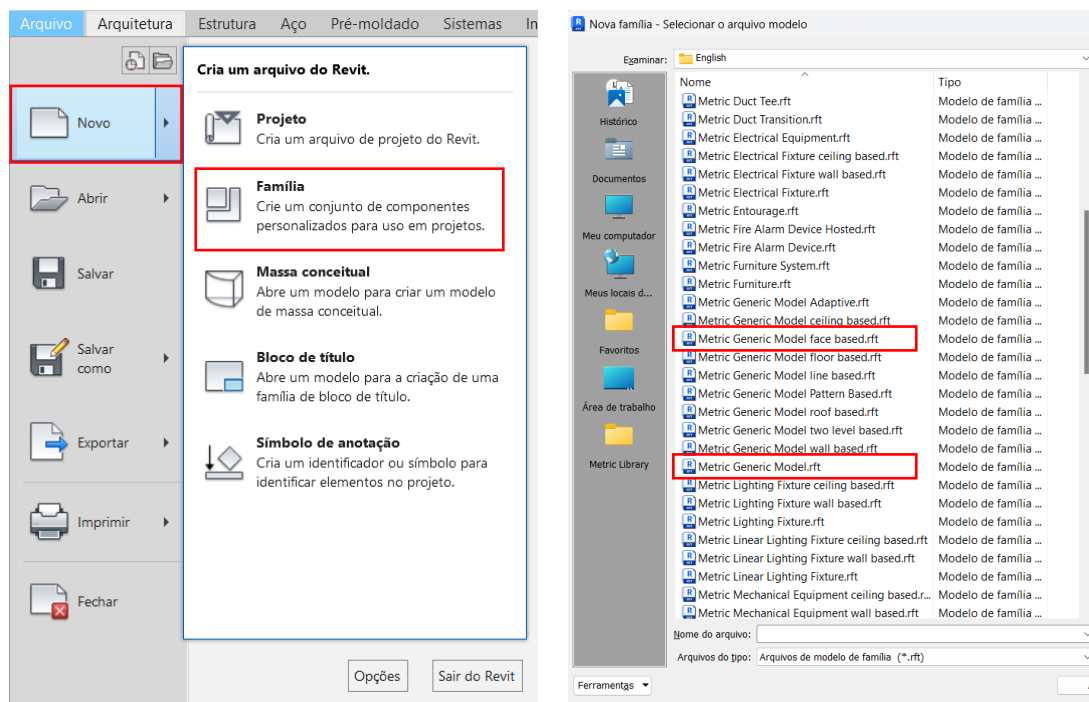
Figura 59 - Esquema dos dados a serem trabalhados no BIM

Além da metodologia apresentada na Figura 59, envolvendo a criação de famílias e o uso do *plug-in* BIMCollab, trabalhou-se com a camada de tempo por meio do faseamento das estruturas de forma a distinguir o estado da estrutura.

5.1. Criação de famílias no Revit

A representação das manifestações patológicas no modelo e inserção de informações referentes aos ensaios devem estar associadas a um elemento e pertencer a uma família. Para isso, foi necessário explorar as funcionalidades do Revit referentes à inserção de imagens e criação das famílias de levantamento geométrico das paredes de tabique e dos ensaios de vibração ambiental, *Resistograph* e humidímetro. O procedimento de criação destes quatro grupos de famílias foi o mesmo, o que diferiu entre eles foram os parâmetros atribuídos e a opção por associação de imagens.

Neste sentido, será apresentado o procedimento de criação de famílias designadas “Janelas de Inspeção”, referentes ao levantamento geométrico das paredes de tabique. Primeiramente, foram criadas as famílias nomeadas “Janelas de Inspeção” com os parâmetros de dimensões das tábuas verticais e ripas de fasquio das paredes de tabique, com o objetivo de apresentar estas informações nas propriedades. Para a modelagem desta família foi criado, inicialmente, um modelo genérico métrico (Metric Generic Model) e, num segundo momento, um modelo genérico métrico baseado em face (Metric Generic Model face based). A Figura 60 apresenta a janela de criação e seleção das famílias de modelos genéricos que foram trabalhadas.



a) Seleção da criação de uma nova família

b) Atribuição das categorias

Figura 60 – Criação de famílias

No início, criou-se um modelo genérico métrico realizado com planos de referência com suas devidas cotas equidistantes e determinação de extrusão do retângulo. As dimensões de largura e comprimento da extrusão foram bloqueadas nos planos de referência da vista de planta e, na vista de alçado, determinou-se uma espessura mínima de 1mm em que se realizou também o bloqueamento no plano de referência. Criaram-se os parâmetros de instância de largura e altura da família.

Em seguida, criou-se um segundo modelo genérico, desta vez com base em face, uma vez que essa família permite modelar o elemento no formato tendo como base a face do hospedeiro (Host) para a sua localização. A família anterior criada foi carregada e alinhada no modelo genérico com base em face e os seus parâmetros foram importados. A Figura 61 apresenta o modelo genérico métrico criado e o modelo baseado em face, respectivamente.

A etapa seguinte deu-se com a importação desta família genérica para o projeto da edificação. A família, então nomeada “Janela de Inspeção”, foi posicionada na face das paredes de tabique ensaiadas do modelo. Para especificar os parâmetros constituintes da “Janela de Inspeção”, foi necessário editar a família, e, nas propriedades de parâmetros compartilhados, criou-se um grupo de parâmetros em que foram agrupadas as informações de dimensões das tábuas verticais e ripas de fasquio, com base nos dados existentes, conforme apresentado na Figura 62.

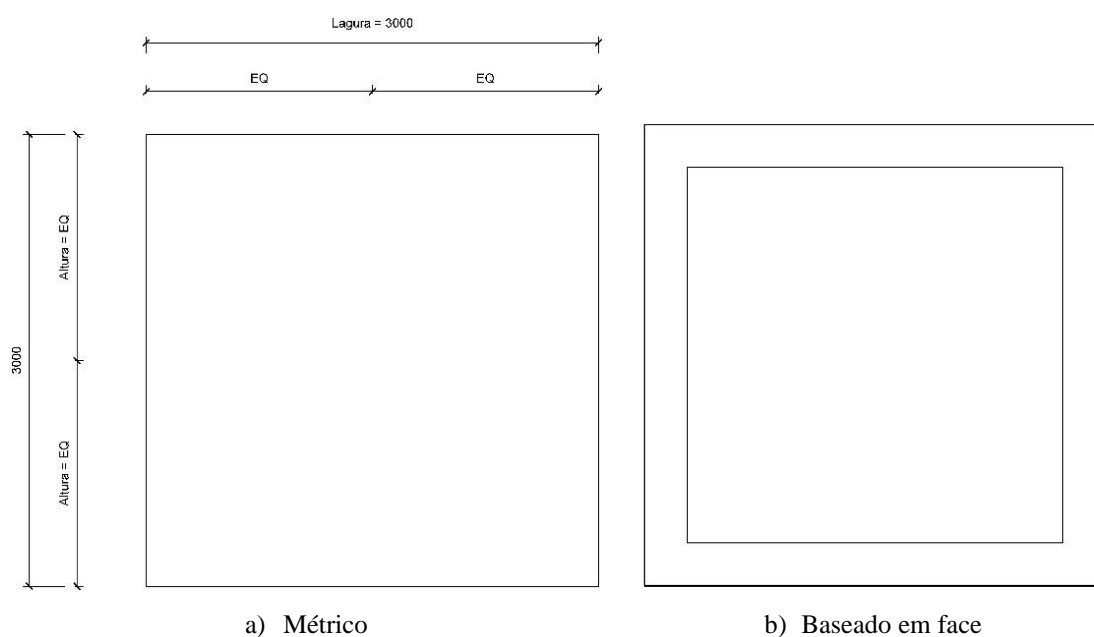


Figura 61 – Famílias de modelo genérico “Janelas de Inspeção”

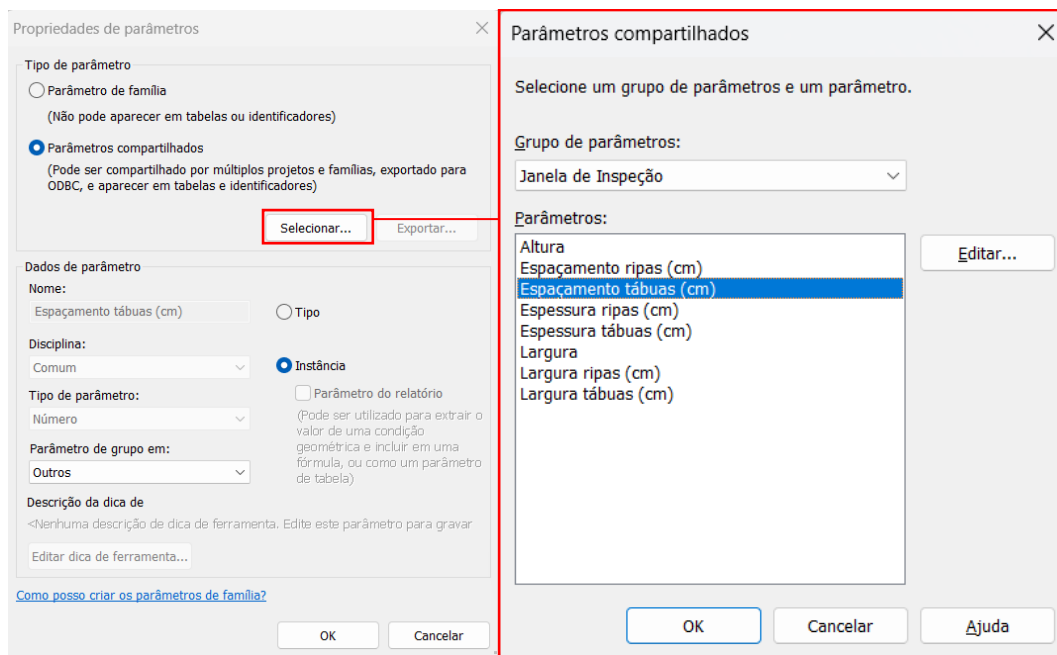


Figura 62 - Edição do grupo de parâmetros e seus parâmetros compartilhados

Após a definição dos parâmetros com base nos dados de ensaio das paredes de tabique, a família foi carregada no modelo com as suas devidas configurações de grupos e parâmetros agrupados. Esta etapa foi fundamental para que os parâmetros se tornem visíveis nas propriedades da família, para o preenchimento dos espaços com as informações. Além disso, criou-se um material para a janela de inspeção para especificar os gráficos a serem exibidos no primeiro plano do padrão de superfície com padrões de preenchimento e, na opção de exibição de gráfico realista do modelo, importou-se uma fotografia de uma janela de inspeção.

A Figura 63 apresenta um corte transversal, em que aparece as “Janelas de Inspeção” das P.T 4.1 (pisso 1), P.T 6.1 (pisso 1) e P.T 4.2 (pisso 2), com destaque para os dados de ensaios da P.T 4.1. O mesmo procedimento foi adotado para o restante das paredes de tabique inspeccionadas.

Com a família de “Janela de Inspeção” criada com os parâmetros de dimensões das ripas de fasquio e tábuas verticais nas paredes do modelo, foi possível gerar uma tabela de quantidade para agrupar essas informações. Sendo assim, criou-se uma tabela quantitativa de modelos genéricos, onde foram inseridos os campos tabelados nas propriedades da tabela. Ajustou-se a aparência, como espessura das bordas, o tamanho da fonte e a disposição do texto. A tabela foi exportada do Revit, sendo apresentada na Tabela 7.

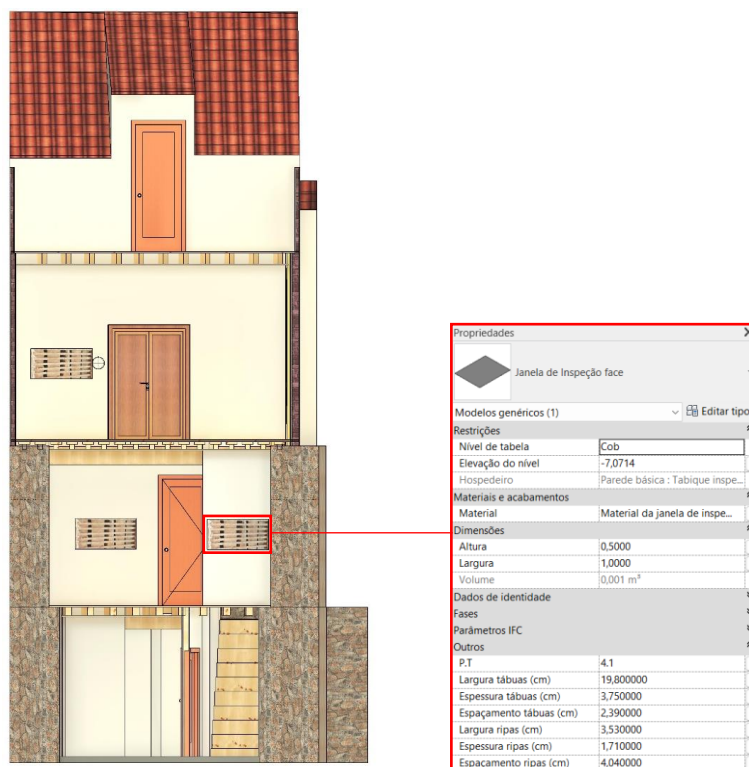


Figura 63 - Propriedades definidas na família "Janelas de Inspeção" da P.T 4.1

Tabela 7 - Quantitativo das Janelas de Inspeções do modelo

P.T	Largura tábuas (cm)	Espessura tábuas (cm)	Espaçamento tábuas (cm)	Largura ripas (cm)	Espessura ripas (cm)	Espaçamento ripas (cm)
4.1	19,80	3,75	2,39	3,53	1,71	4,04
5.1	15,96	4,54	3,98	2,98	1,20	3,59
6.1	16,03	4,50	2,33	3,56	1,21	3,49
8.1	14,22	4,10	2,30	3,28	1,10	3,50
3.2	18,06	3,36	2,73	3,12	1,04	2,81
4.2	14,04	3,99	2,84	2,80	1,08	3,39
5.2	19,17	4,33	3,01	3,10	1,10	3,49
6.2	17,58	3,95	3,45	3,10	1,07	3,39
7.2	15,21	3,51	2,69	2,94	1,00	3,30
8.2	19,13	4,73	2,85	3,43	1,16	3,79
10.2	17,51	4,25	2,89	3,49	1,13	3,74
11.2	13,75	4,20	3,88	3,23	0,91	3,53
9.2	12,60	3,66	3,80	3,23	1,11	3,17
2.3	15,40	4,34	3,79	3,16	1,25	4,44
4.3	17,65	2,63	1,28	2,99	1,21	3,86
6.3	22,19	3,45	2,31	2,85	1,24	3,68
8.3	14,50	3,63	3,30	3,28	0,98	3,35
7.3	13,18	3,96	2,36	3,11	0,94	3,41
11.3	19,20	4,20	2,43	3,30	1,08	4,01
10.3	18,73	3,00	3,09	2,95	1,15	3,88
12.3	15,81	3,09	1,95	2,94	1,13	3,71
9.3	17,81	3,74	1,68	3,62	0,94	3,17

O mesmo procedimento foi adotado para criação da família do ensaio de *Resistograph*, em que se inseriu nas paredes ensaiadas do modelo uma família circular de modo a se assemelhar a uma “mira” com as informações referentes ao ensaio. Além disso, quando se trata de inspeções em elementos estruturais, é fundamental a atribuição de imagens referentes às fotografias e gráficos de ensaios. Por isso, também foi explorada esta funcionalidade no BIM. Um dos parâmetros definidos na família do “Resistógrafo” foi “Imagem”, nos dados de identidade. Neste item, foi possível adicionar imagens de gráficos dos ensaios (ver a Figura 64) que, embora não fiquem representadas na paleta de propriedades, tornam-se visíveis no levantamento de tabelas de quantidades geradas automaticamente no programa.

Dessa forma, foi possível extrair a tabela quantitativa dos dados do ensaio realizado com o *Resistograph* nas paredes de tabique, conforme apresentado na Tabela 8.

Imagem raster	Nome	Contage	Caminho	Tipo de caminho
	Resistógrafo PT 10.2.png	1	C:\Users\julia\OneDrive - ESTGV\IPV\Dissertação\BIM\Ensaios\Resistógrafo PT 10.2.png	Absoluto
	Resistógrafo PT 10.3.png	1	C:\Users\julia\OneDrive - ESTGV\IPV\Dissertação\BIM\Ensaios\Resistógrafo PT 10.3.png	Absoluto
	Resistógrafo PT 11.2.png	1	C:\Users\julia\OneDrive - ESTGV\IPV\Dissertação\BIM\Ensaios\Resistógrafo PT 11.2.png	Absoluto
	Resistógrafo PT 11.3.png	1	C:\Users\julia\OneDrive - ESTGV\IPV\Dissertação\BIM\Ensaios\Resistógrafo PT 11.3.png	Absoluto
	Resistógrafo PT 2.3.png	1	C:\Users\julia\OneDrive - ESTGV\IPV\Dissertação\BIM\Ensaios\Resistógrafo PT 2.3.png	Absoluto

Figura 64 - Lista de imagens importadas para o modelo e atribuídas aos elementos de ensaio

Tabela 8 - Quantitativo de dados do ensaio com o Resistograph

P.T	Piso	Espessura das tábuas (cm)	Valor médio	Imagem
11.3	3	4,2	171	
10.3	3	3	237	
6.3	3	3,45	219	
3.2	2	3,36	82	
4.2	2	3,99	200	
5.2	2	4,33	151	

Tabela 8 – Quantitativo de dados do ensaio com o *Resistograph* (continuação)

P.T	Piso	Espessura das tábuas (cm)	Valor médio	Imagem
8.2	2	4,73	182	
10.2	2	4,25	170	
11.2	2	4,2	172	
2.3	2	4,2	172	
5.1	1	4,54	157	
8.1	1	4,1	224	

Além disso, também foram definidas representações no modelo referentes aos ensaios de Humidímetro nas argamassas de revestimento das paredes de tabique, nomeadamente nas paredes designadas por PT 9.1, PT 5.2 e PT 6.3. Inicialmente, criou-se uma família referente ao ensaio do humidímetro com os parâmetros de largura e altura. No entanto, desta vez optou-se por representar os gráficos do teor de água (%) diretamente nas faces do revestimento de argamassa das paredes de tabique para visualização da distribuição do teor de água (%).

Para isso, começou-se por definir a largura e altura da família de 2,00 e 0,50 m conforme as medidas dos painéis desenhados nas paredes por Mendonça (2023). Na funcionalidade de definição de materiais e acabamentos disponível na paleta de propriedades da família, criou-se um material para cada parede inspecionada, em que se inseriu a respetiva imagem do gráfico do teor de água, previamente guardada no dispositivo, conforme apresentado na Figura 65. Os ajustes de tamanho e posicionamento foram feitos de forma que o gráfico ocupasse por completo a face da família criada.

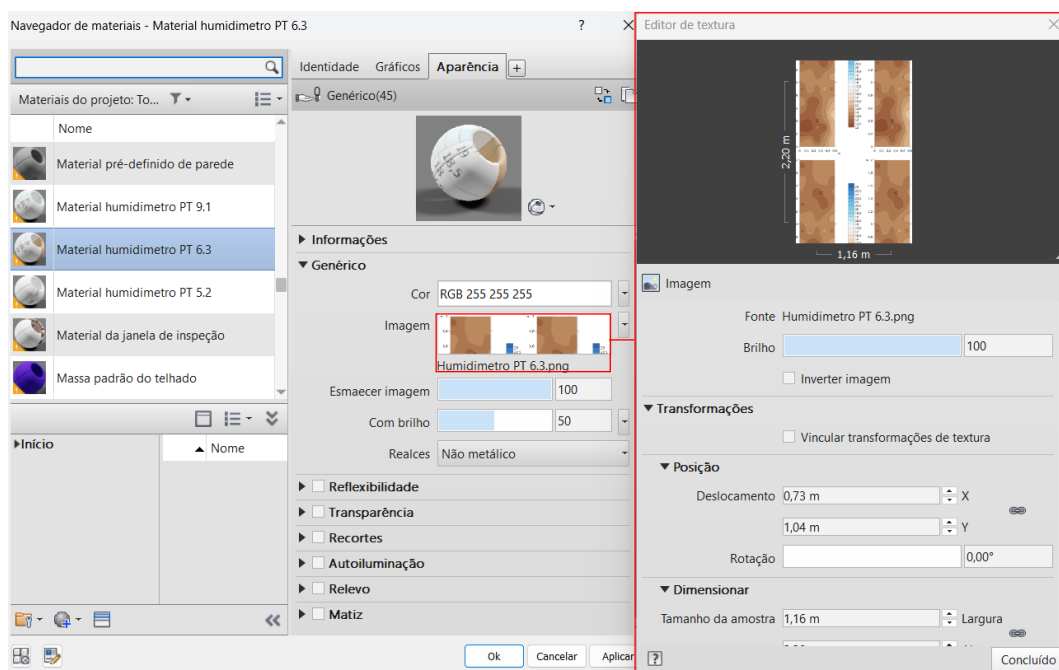


Figura 65 - Passos para inserir gráfico do teor de água (%) na família

As famílias com os gráficos de distribuição do teor de água (%) foram posicionadas nas faces das paredes PT 9.1, PT 5.2 e PT 6.3. A Figura 66 apresenta um corte em que é possível visualizar a distribuição do teor de água (%) na argamassa de revestimento da PT 6.3.

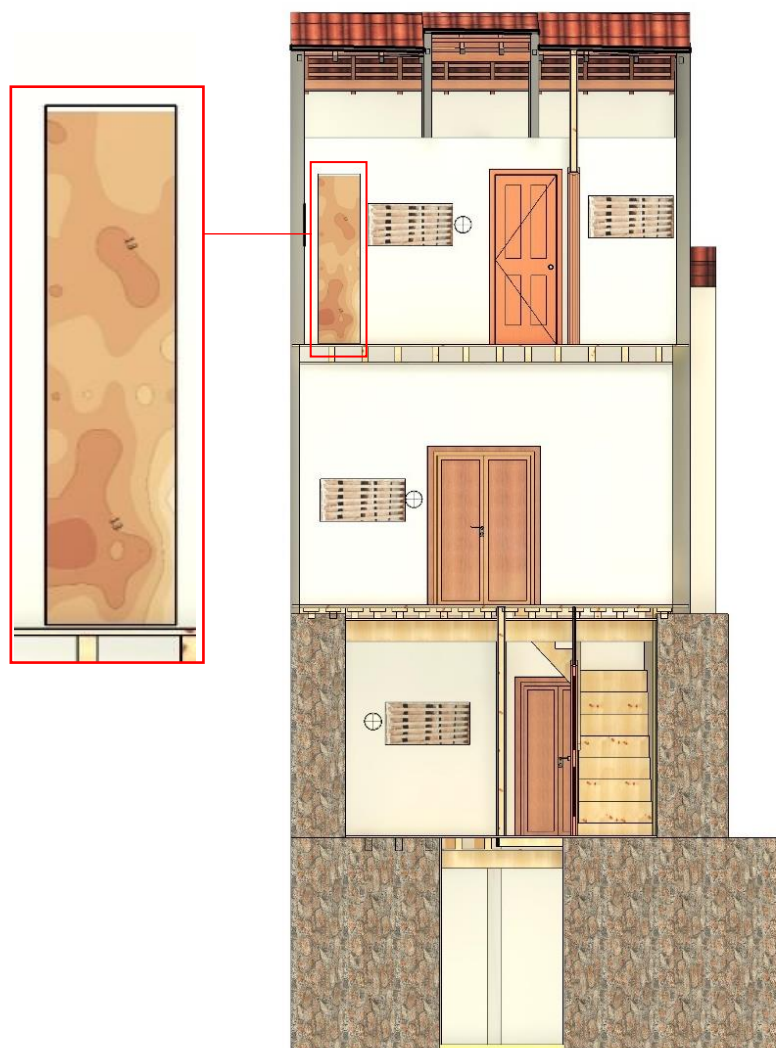


Figura 66 - Corte longitudinal com os gráficos do teor de água (%) na PT 6.3

E, por fim, criou-se também a família referente ao ensaio de vibração ambiental nos pavimentos, com os respectivos parâmetros. Neste caso, foram definidos parâmetros como localização, frequência, piso e vão. A família então designada por “Vibração ambiental” foi posicionada em 4 pontos distintos, sendo 1 no piso 1, 1 no piso 2 e 2 no piso 3 (ver Apêndice C). Assim como a família do ensaio do *Resistograph*, foi possível incluir a imagem do gráfico do resultado do ensaio associado ao primeiro modo de vibração na direção longitudinal, transversal e vertical. E, com isso, pôde-se gerar a tabela quantitativa com as informações agrupadas (ver a Figura 67).

Após a etapa de inserção de informações referentes à inspeção e diagnóstico no modelo, como famílias para os ensaios de *Resistograph*, humidímetro e vibração ambiental, optou-se pela criação de filtros com o objetivo de o utilizador do programa ter

a opção de visualização das famílias no modelo ou desativá-las. Dessa forma, utilizou-se do comando de filtros disponível em visibilidade/sobreposição de gráficos do modelo e criaram-se regras de filtro (ver a Figura 68), de modo que ao desativar o filtro, as informações nele relacionadas não ficassem visíveis no modelo.

Ensaio	Piso	Localização	Vão (m)	Frequência experimental (Hz)	Imagem
S.1.3	3	Teto do piso 2	2,09	20,14	
S.2.3	3	Teto do piso 2	3,32	23,32	
S.1.2	2	Teto do piso 1	2,6	22,83	
S.1.1	1	Teto do piso 0	3,71	16,97	

Figura 67 - Quantitativo do ensaio de vibração ambiental nos pavimentos

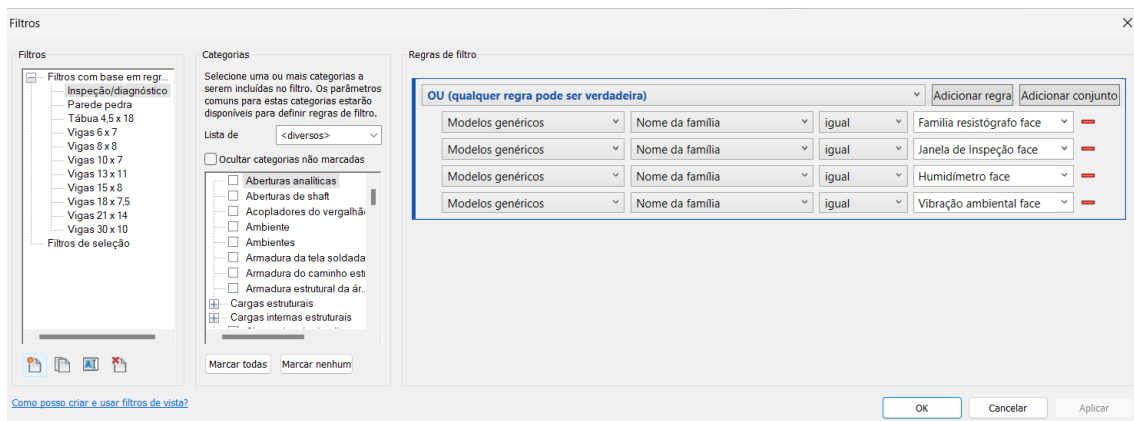


Figura 68 - Criação de filtros no Revit

As Figuras 69 e 70 apresentam o funcionamento do filtro criado num corte tridimensional do modelo, sendo que quando este está ativo as famílias são mostradas nas faces dos elementos e, quando se desativa o filtro, as famílias deixam de ser visíveis.

Visibilidade/Sobreposição de gráficos para Vista 3D: (3D)

Categorias de modelo Categorias de anotação Categorias de modelo analítico Categorias importadas Filtros

Nome	Ativar filtro	Visibilidade	Projeção/Superfície			Cortar		Meio-tom
			Linhas	Padrões	Transparência	Linhas	Padrões	
Inspecção/diagnóstico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	<input type="checkbox"/>

a) Ativação do filtro



b) Modelo 3D

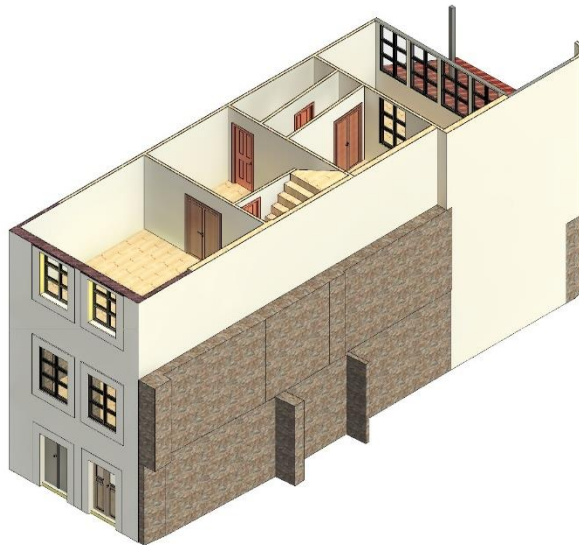
Figura 69 - Modelo BIM com o filtro ativo

Visibilidade/Sobreposição de gráficos para Vista 3D: (3D)

Categorias de modelo Categorias de anotação Categorias de modelo analítico Categorias importadas Filtros

Nome	Ativar filtro	Visibilidade	Projeção/Superfície			Cortar		Meio-tom
			Linhas	Padrões	Transparência	Linhas	Padrões	
Inspecção/diagnóstico	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	<input type="checkbox"/>

a) Desativação do filtro



b) Modelo 3D

Figura 70 - Modelo BIM com o filtro desativado

Por fim, a criação de famílias de “Janela de Inspeção” mostrou-se como uma mais valia para armazenar os dados referentes ao levantamento geométrico e aos ensaios realizados na edificação, nomeadamente de *Resistograph*, vibração ambiental e humidímetro nos elementos de madeira. No entanto, vale ressaltar que também se pode utilizar o mesmo procedimento para a criação de famílias de levantamento geométrico e ensaios em betão armado, por exemplo, conforme apresentado por Rangel (2019) no Capítulo 2 do presente trabalho. Além disso, a possibilidade de definir parâmetros para esta família foi fundamental para a inserção da informação no modelo BIM e para a representação em formato de tabelas. A execução desta etapa do trabalho demandou um estudo prévio sobre a criação de famílias paramétricas, principalmente na compreensão de parâmetros compartilhados e parâmetros por instância, mas que foi fundamental para aprimorar os conhecimentos nesta área.

5.2. Uso do BIMCollab para documentação de patologias

Outra ferramenta explorada na catalogação de anomalias no modelo, também estudada por Silva (2021) e anteriormente apresentada, foi a integração da ferramenta BIMCollab com o *software* Revit, a partir da utilização do *plug-in* BIMCollab BCF Manager para avaliar a interoperabilidade dos dados em formato *Bim Collaboration Format* (BCF). Trata-se de um formato neutro para comunicações e troca de informações, de forma que ao conectar-se com a plataforma *online* BIMCollab Cloud, as informações ficam armazenadas na nuvem. Essa ferramenta permite trabalhar com o gerenciamento de acesso aos membros da equipa, definição de prioridades, acompanhar as atualizações do projeto e gerar relatórios. Optou-se por trabalhar com esta ferramenta visto que ela permite a troca de informações de forma eficiente por meio do compartilhamento de dados, além de ser uma ferramenta de fácil manuseio, apesar de certas limitações.

A utilização dessa ferramenta deu-se com a catalogação das anomalias de fendilhação/fissuração, manchas de humidade, destacamento da argamassa e sujidades. Antes da utilização do *plug-in* BIMCollab no *software*, criou-se um mapa de danos das anomalias para ilustrar as patologias nos elementos que serão analisados com o BIMCollab.

A criação do mapa de danos deu-se com o processo semelhante ao realizado por Lima *et al.* (2017). Primeiramente, selecionou-se a parede com a anomalia de

destacamento da argamassa (PT 3.2) e, em seguida, utilizou-se do comando de “Dividir face” no painel “Modificar” do Revit, em que foi possível desenhar com “spline” o contorno aproximado da área afetada na face da parede, conforme apresentado na Figura 71.

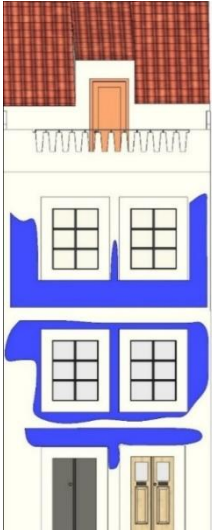
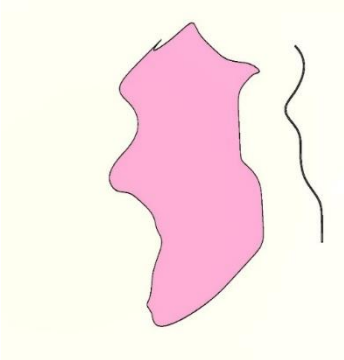

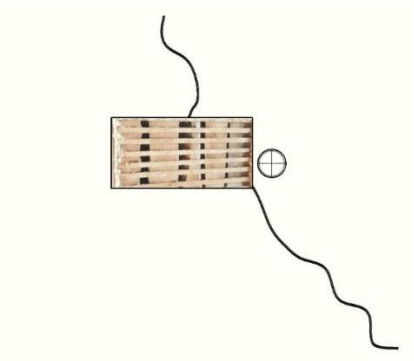


Figura 71 - Mapa de dano do destacamento da argamassa na PT 3.2

Após a representação das áreas das patologias, utilizaram-se diferentes cores de pintura para destacá-las. A Tabela 9 apresenta o mapa de danos realizado para cada umas das manifestações patológicas encontradas na edificação.

Com as patologias devidamente destacadas nos elementos construtivos afetados, procedeu-se à utilização do BIMCollab para documentar a descrição das patologias. Inicialmente criou-se um projeto na ferramenta do BIMCollab e, com a ferramenta “Issues” foi possível a realização de apontamentos nos elementos, inserindo-se informações de diagnóstico. Os dados referentes à patologia foram adicionados, bem como a localização no elemento construtivo, descrição e imagens em alguns campos disponíveis da ferramenta “Issues”, conforme apresentado na Figura 72.

Tabela 9 - Mapa de danos atribuídos às patologias

Patologia	Mapa de dano
<p>Sujidade na argamassa de revestimento das paredes do alçado principal</p>	
<p>Destacamento da argamassa e fissuração na PT 3.2</p>	
<p>Humidade na PA 3.2</p>	
<p>Fendilhação na P.T 10.2</p>	

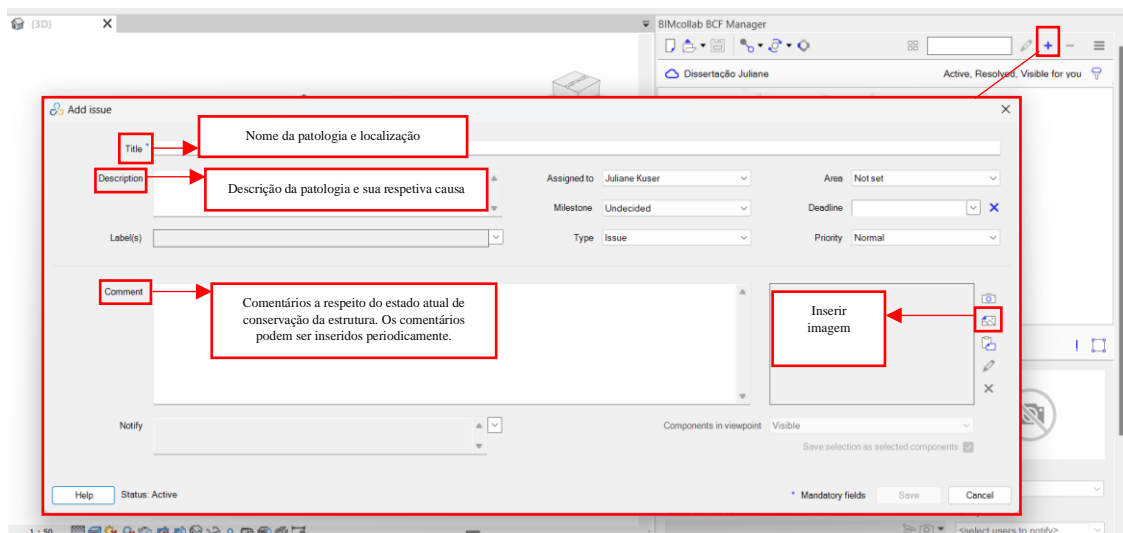


Figura 72 - Processo de inserção das informações de diagnóstico no BIMCollab (Issues)

Em seguida, selecionou-se a parede afetada pela patologia, como o destacamento da argamassa na PT 3.2 e criou-se uma “Issue” no *plug-in* do BIMCollab no Revit e adicionou-se o título e a devida descrição para a patologia, conforme é apresentada na Figura 73. É válido ressaltar que outras informações poderiam também ser abordadas nestes campos, principalmente nos comentários, como possíveis soluções de tratamento e/ou ações corretivas. O mesmo procedimento foi adotado para inserir as informações referentes às demais patologias apontadas.

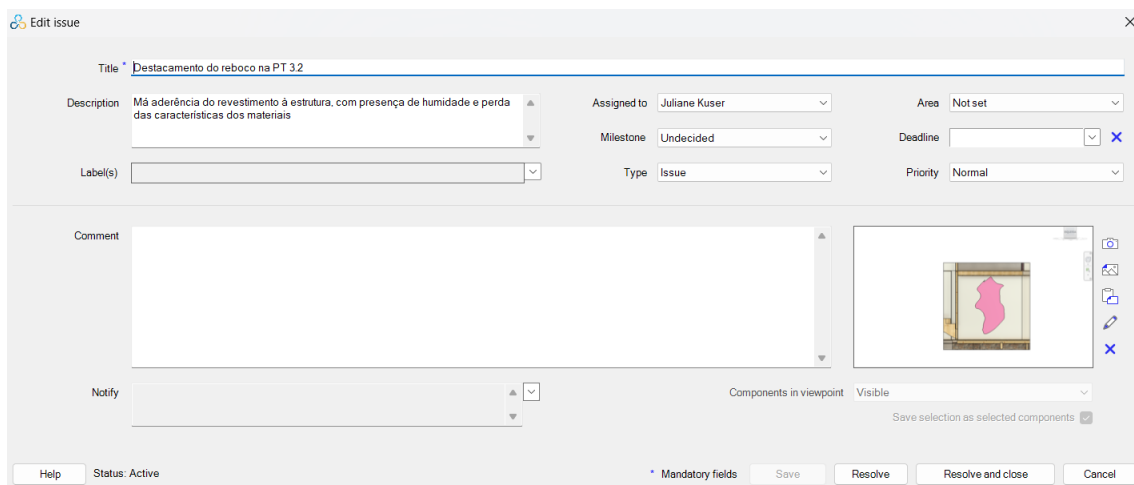


Figura 73 - Interface da criação de “Issues” com o *plug-in* BIMCollab no Revit

Após explorada a viabilidade de mapear as anomalias num ambiente tridimensional com a utilização de *plug-in* BIMCollab no Revit, verificou-se a

possibilidade de adicionar fotografias referentes às manifestações patológicas para as ilustrar. Essa representação deu-se com o comando “Edit *issue*” e “Select snapshot from file”, em que a fotografia pôde ser inserida a partir da biblioteca do computador do utilizador (ver a Figura 74).

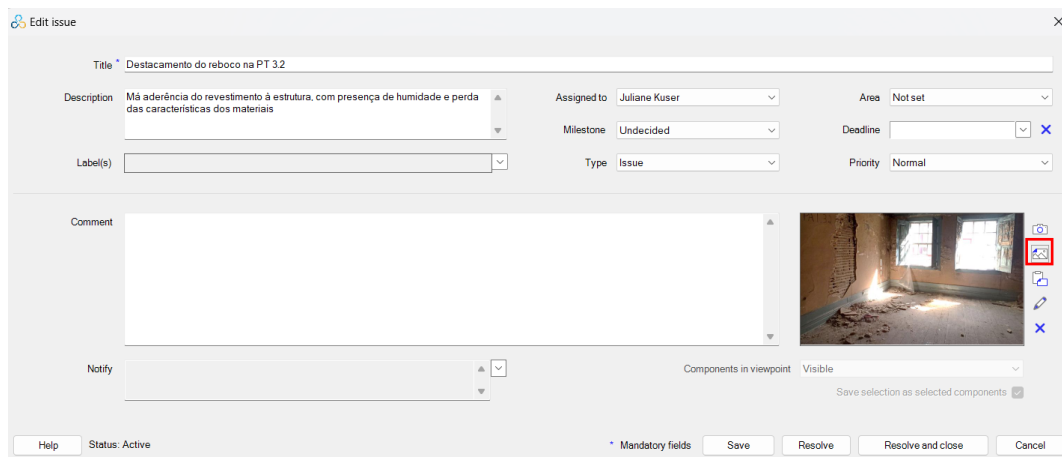


Figura 74 - Interface do BIMCollab no Revit com o comando de inserir imagem

Com as informações de diagnóstico inseridas no modelo BIM com o auxílio do BIMCollab, é possível sincronizá-las com a BIMCollab Cloud (BIMCollab, 2015), ferramenta *online*, para visualização das informações trabalhadas, conforme pode ser consultado no Apêndice E.

A utilização do *plug-in* BIMCollab no Revit mostrou-se fundamental para inserir dados de inspeção e diagnóstico no modelo tridimensional do Revit, visto que ao fazer um duplo clique na “*Issue*” criada com a respetiva caixa de secção criada, é possível fazer zoom nos elementos em que há as manifestações patológicas.

Outro ponto fundamental é o quesito de operação e manutenção no modelo BIM, de forma a realizar um monitoramento das anomalias bem como o acompanhamento da sua evolução. Essa questão é possível ser explorada através da inserção de comentários nas “*Issues*” criadas, visto que em cada comentário se pode anexar uma fotografia do estado atual de conservação do elemento, além de prosseguir com a inserção de novos comentários a cada monitoramento na estrutura com as suas respetivas datas, sem que os dados anteriores sejam perdidos.

Com o desenvolvimento desta etapa, concluiu-se que ao criar-se o mapa de danos das patologias encontradas na edificação, notou-se que o mapa de danos no Revit é possível de ser criado apenas em superfícies sem áreas de interseção para evitar o

aparecimento de mensagens de erro. Além disso, a utilização do *plug-in* BIMCollab para a documentação de patologias foi importante para a criação de um processo de inserção de informações do diagnóstico, como o nome, descrição, comentários e imagens a respeito das patologias. Apesar do *plug-in* ser uma ferramenta voltada para coordenação e comunicação de novos projetos, pôde-se adaptar de forma simplificada para trabalhar com a inserção de dados de diagnóstico dos elementos construtivos. No entanto, observaram-se algumas limitações do programa, como a impossibilidade de anexar outros formatos de arquivos, tais como de vídeos e PDF, além de apresentar uma quantidade limitada de campos para customizar nas “Issues”. Ainda sim, tem a vantagem que as informações inseridas no BIMCollab são armazenadas na nuvem e podem ser visualizadas de forma *online*.

5.3. Faseamento no BIM

Por fim, com o objetivo de monitorar, no modelo BIM, o estado dos elementos estruturais afetados, em recuperação e recuperados, recorreu-se à criação de fases do Revit, que consiste em introduzir a camada de tempo no programa. Para isso, optou-se por trabalhar com o quesito de manutenção e acompanhamento da estrutura com as fases criadas de “Estrutura afetada”, “Estrutura em recuperação” e “Estrutura recuperada” (ver a Figura 75).

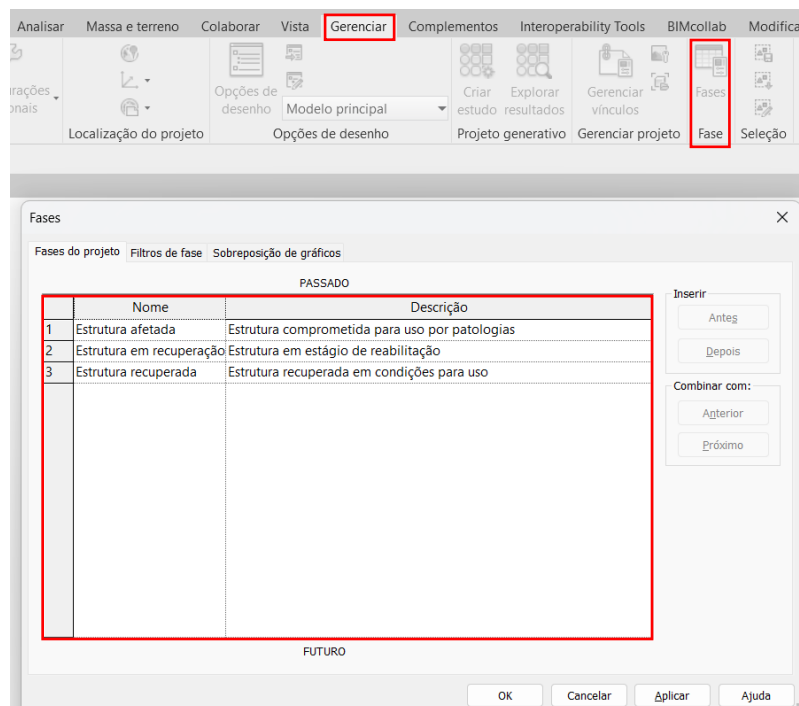


Figura 75 - Interface de criação de fases no Revit

Além disso, foi configurada a sobreposição de gráficos das fases criadas com os padrões de linha de superfície e corte (ver a Figura 76) para definição das cores de representação.

Status da fase	Projeção/Superfície		Cortar		Meio-tom	Material
	Linhas	Padrões	Linhas	Padrões		
Existente					<input type="checkbox"/>	
Demolido	---		---		<input type="checkbox"/>	Fase - Demo
Novo	---		---	///	<input type="checkbox"/>	
Temporário	---		---	///	<input type="checkbox"/>	

Figura 76 - Interface da configuração dos gráficos das fases

Ao selecionar a vista a ser trabalhada, no caso 3D, foi possível atribuir para cada elemento estrutural um tipo de fase. Toma-se como exemplo a fachada do edifício, afetada por sujidades acompanhada de alteração da coloração superficial e colonização biológica. Supondo-se que, no momento do estudo a fachada se encontrava em tratamento, foi possível atribuir-lhe a fase de “Estrutura em recuperação” na Fase criada na paleta de propriedades (ver a Figura 77), para designar a estrutura que está com processo de reabilitação/recuperação em andamento.

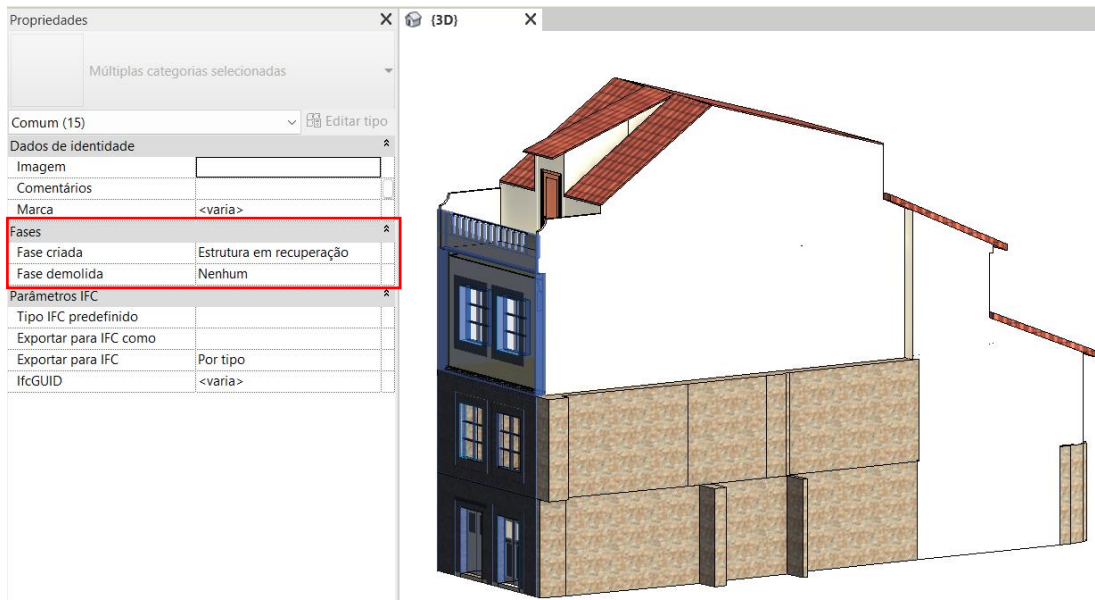


Figura 77 – Faseamento do BIM – Exemplo de atribuição de fase ao alçado

Sendo assim, conforme as alterações de reforço e recuperação sejam realizadas na edificação, será possível atualizar o modelo e alterar a fase do elemento para “Estrutura recuperada”.

Na edificação em estudo, o ensaio com o *Resistograph* registrou pontos de deterioração nas paredes de tabique designadas por PT 3.2, PT 8.2, PT 11.2 e PT 2.3. Nesse sentido, para fins de análise de fases, atribuiu-se a fase de “Estrutura em recuperação” a estas paredes e naquelas que foram detetadas a presença de anomalias (fendilhação, manchas de humidade, sujidades e destacamento do reboco), foram documentadas com o auxílio do *plug-in* BIMCollab. E para a estrutura da cobertura e do alçado posterior, onde se pôde perceber pelas fotografias da edificação que se encontravam num estado crítico de deterioração, atribui-se a fase de “Estrutura afetada”.

Ao aplicar as opções de filtro de fase “Demolir/Construir” nas vistas 3D referentes às fases de “Estrutura afetada” (ver a Figura 78) e de “Estrutura em recuperação” (ver a Figura 79), tornou-se visível as fases a serem trabalhadas. Sendo que na “Estrutura afetada”, são apresentadas as estruturas da cobertura e do alçado posterior que se mostraram degradadas e, na “Estrutura em recuperação”, são mostradas a estrutura afetada e aquela em tratamento, sendo a última representada com contorno vermelho. Como a ferramenta de fases do Revit recorre à camada de tempo, os elementos só deixam de aparecer no filtro de fase “Demolir/Construir” quando forem reparados e alterados para a fase “Estrutura recuperada”.

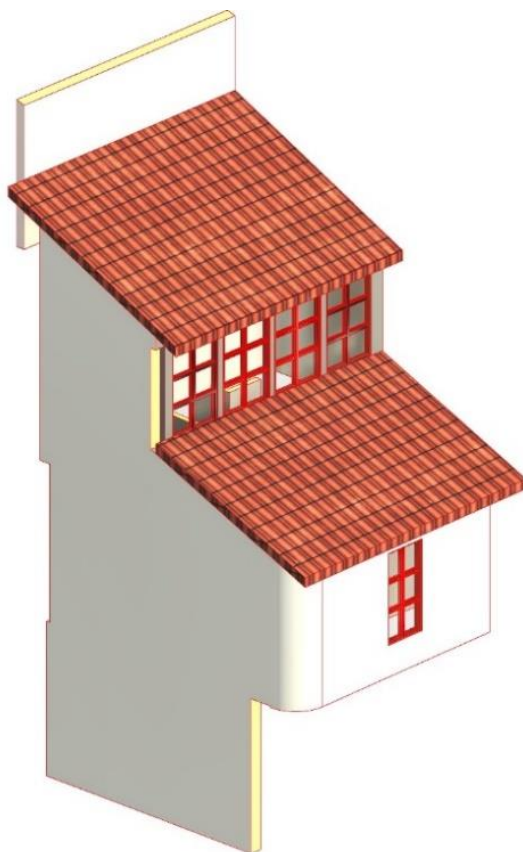


Figura 78 - Filtro de fase da “Estrutura afetada”

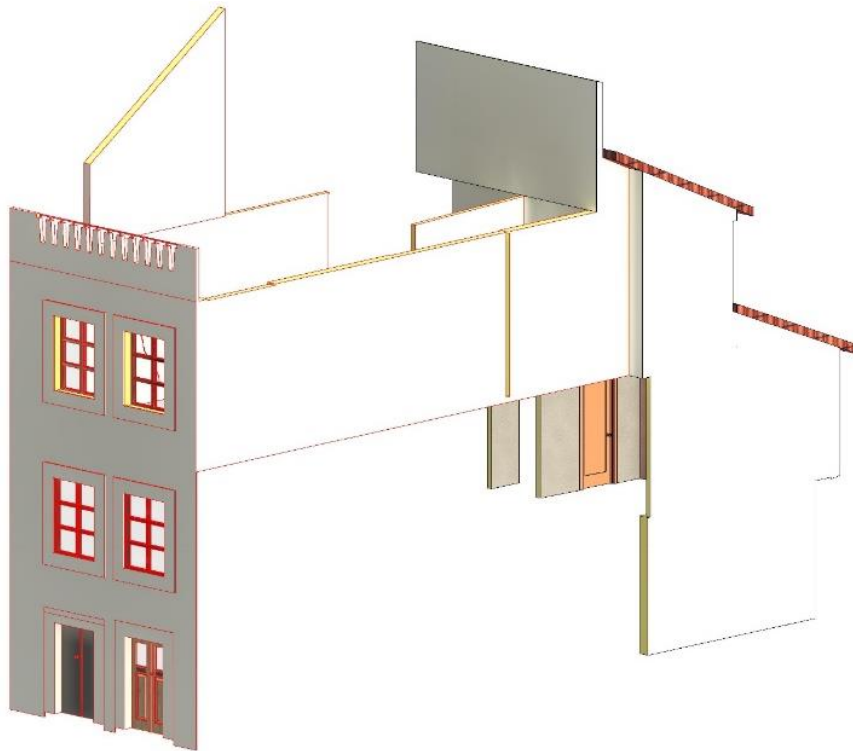


Figura 79 - Filtro de fase da “Estrutura em recuperação”

Em relação ao procedimento de faseamento no Revit, num primeiro momento encontraram-se dificuldades quanto à definição do filtro de fase em função das diferentes opções disponíveis: “Nenhum”, “Completo”, “Demolir/Construir”, “Levantamento” e “Mostrar Tudo”. No entanto, optou-se por trabalhar com o filtro que mostrasse com destaque em cores pré-definidas a região do edifício que se encontra em ruína (Estrutura afetada) e com presença de patologias (Estrutura em recuperação).

Além disso, também foi possível a visualização da etapa de levantamento, em que se apresenta a estrutura por completo. Esta representação por meio de fases no Revit está relacionada à operação/manutenção das edificações, em que se torna possível realizar um acompanhamento em BIM do processo de recuperação de elementos afetados da obra, bem como modificar as fases conforme as reparações são realizadas na estrutura.

E, por fim, quanto à utilização da camada tempo no Revit a partir da criação de fases de “Estrutura recuperada”, “Estrutura em recuperação” e “Estrutura afetada”, foi possível criar um procedimento para o monitoramento da estrutura, sendo que o estado de conservação pode ser atualizado no programa conforme a restauração é feita na edificação. Esse procedimento pode ser útil em estruturas em processo de recuperação/restauração, onde se realiza um monitoramento do estado de conservação e

acompanhamento das obras de recuperação/restauração e ainda das etapas posteriores para a manutenção. O faseamento se torna visível na vista 3D, conforme os padrões de linha e preenchimento definidos pelo usuário, representando as fases definidas e selecionadas.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. Conclusões

Um dos objetivos deste estudo é contribuir para a utilização do BIM no campo de inspeção, diagnóstico e reabilitação de edifícios antigos, tendo-se para o efeito selecionado um edifício residencial antigo, situado no centro histórico de Viseu, em Portugal, que possui diversas soluções construtivas com diferentes materiais, incluindo paredes de tabique. A presente pesquisa deu continuidade para aplicabilidade técnica ao estudo de Mendonça (2023), em que a autora constatou as manifestações patológicas existentes e procedeu com levantamentos geométricos nos elementos da estrutura. Com as informações obtidas e analisadas, foi possível realizar a modelagem em BIM do edifício em estudo e explorar funcionalidades para analisar as informações de diagnóstico.

O edifício estudado é composto por uma estrutura maioritariamente de madeira maciça, possuindo paredes externas de pedra nos dois primeiros pisos, paredes externas de alvenaria no alçado principal e, as demais, de tabique revestidas com argamassa. Por se tratar de um edifício antigo, há predominância de elementos em madeira, como as vigas, soalho e cobertura. O edifício em questão encontra-se em estado de deterioração com a forte presença de manifestações patológicas e perda da capacidade resistente em alguns dos elementos construtivos inspecionados. Uma parte do edifício, na zona posterior, encontra-se em ruína.

Dessa forma, inicialmente foi feita a modelagem da edificação em BIM com o *software* Revit, em que as plantas arquitetónicas e estruturais projetadas em CAD foram importadas para o *software*. Num primeiro momento, as paredes de tabique foram modeladas utilizando-se o comando de painel cortina do Revit. No entanto, notou-se que para uma parede de tabique seriam necessários dois painéis cortinas para representar as tábuas (com enchimento) e ripas, além da parede de espessura reduzida para representar a argamassa de revestimento. Nesse sentido, optou-se por seguir com a modelagem das paredes utilizando-se o método convencional, visto que a grande quantidade de painéis cortinas sobrecarregaria o modelo e a representação das interseções dos painéis cortina estariam com sobreposição, e não com a junção correta. No entanto, é válido ressaltar que num edifício com uma quantidade de paredes de tabique reduzida é viável essa

representação por meio de painéis cortinas. Em seguida, realizou-se a modelagem dos elementos arquitetônicos e estruturais, bem como a constituição das paredes, pavimentos e cobertura.

A modelagem em BIM mostrou-se fundamental para o acompanhamento e visualização tridimensional da edificação e para gerar as plantas arquitetônicas e estruturais com os modos de vista atribuídos para fins de padronização. Com o caso de estudo, foi possível aprofundar os conhecimentos sobre a modelagem do edifício antigo com base em desenhos realizados no método convencional do CAD. Além disso, apesar de não ter sido feito levantamento em *laser scanning*, pôde-se perceber com as pesquisas bibliográficas que essa metodologia tornar-se-á mais frequente, apesar do custo elevado, principalmente em edifícios históricos, visto que nem sempre é possível aceder aos projetos antigos.

Além disso, o estudo mostrou uma alternativa para armazenar informações de levantamentos em recursos atuais de modelagem, empregando o BIM. Para isso, procedeu-se a uma metodologia em que se desenvolveram famílias paramétricas com informações sobre ensaios *in situ* e levantamentos geométricos no modelo, etapa fundamental quanto à otimização na fase inicial de projetos de reabilitação nos quesitos de inspeção e diagnósticos. A partir da criação de famílias de janelas de inspeção e de ensaios, foi possível posicioná-las nas faces dos respectivos elementos inspecionados e atribuir um padrão de dimensão e gráfico para fins de visualização no modelo.

Apesar de exigir um certo estudo e domínio do *software* Revit, a metodologia constituiu uma mais valia quanto à otimização da fase de armazenamento das informações de inspeção e diagnóstico, visto que poderá também ser aplicada a outros elementos, por exemplo de betão armado, que possuem outros tipos de ensaios e, conseqüentemente, outros parâmetros a serem adicionados às famílias. Além das famílias serem visíveis na vista 3D, também foi possível gerar tabelas quantitativas em que se constaram a identificação dos elementos, gráficos, resultados de ensaios e demais parâmetros. A criação de famílias paramétricas mostrou-se como uma alternativa viável para consultar os dados de inspeção e diagnóstico no modelo, além de que os parâmetros e as informações contidas neles podem ser atualizadas no modelo e, conseqüentemente, nas tabelas de quantidade. Também foi explorada a utilização de filtros para ativar/desativar as famílias, sendo que o projetista/utilizador pode optar pela alternativa de visualizar as famílias nos elementos ou não.

Em relação ao mapa de danos, criaram-se formas nas superfícies dos elementos construtivos que apresentaram manifestações patológicas, como manchas, sujidades e fissurações/fendilhações. Além disso, pôde-se distinguir as áreas das patologias com cores para destacar as partes afetadas da estrutura. Apesar de simples, esse método foi interessante para representação gráfica das anomalias no modelo BIM, sendo um facilitador para a visualização das áreas afetadas. No entanto, o mapa de danos apresentou limitação quanto à representação gráfica, visto que apenas é viável em superfícies regulares, pois em superfícies com trechos sobrepostos o Revit gera uma mensagem de erro e impede o prosseguimento da criação do mapa de danos.

Além disso, a análise dos dados em formato BCF com o *plug-in* BIMCollab no Revit mostrou-se como uma alternativa de HBIM para a documentação de informações de diagnóstico no modelo. Apesar do *plug-in* ser direcionado para coordenação e comunicação de novos projetos, pôde-se adaptar de forma simplificada a ferramenta para inserção de dados de diagnóstico dos elementos construtivos. A ferramenta possibilitou a criação de projeto e a inserção das informações das anomalias, descrição, causas e imagens. Além de permitir que as informações textuais fossem relacionadas a um elemento do modelo, essa solução agrupou as informações num banco de dados único com possibilidade de sincronização para a plataforma *online* BIMCollab Cloud.

A ferramenta BIMCollab foi fundamental para catalogação de manifestações patológicas presentes na estrutura. Ainda sim, pode ser utilizada como mecanismo de monitoramento periódico de evolução das anomalias e atualização das informações inserindo-se comentários, sem que os comentários anteriores sejam perdidos.

A ferramenta “*Issues*” que foi explorada apresentou-se como uma interface inteligente, de simples manuseio e como uma alternativa para documentar as patologias. O BIMCollab mostrou-se como um instrumento capaz de compreender o estado de conservação de uma construção histórica, sendo uma ferramenta relacionada ao conceito de HBIM. Apesar do BIMCollab se mostrar como uma ferramenta eficaz, é válido ressaltar que podem ser encontradas algumas limitações na sua aplicação em HBIM. Um exemplo disso pode ser o caso de projetos de recuperação de grande porte onde há uma grande quantidade de informações, bem como de relatórios de inspeções e diagnósticos. As dificuldades podem ocorrer na inserção das informações no modelo, visto que no *plug-in* não se encontraram meios de inserir dados em formato pdf ou vídeos no modelo, apenas no formato de textos ou fotografias.

E, por fim, trabalhou-se com o recurso de faseamento no Revit, em que é analisado o quesito tempo no BIM, sendo normalmente utilizado para distinguir os elementos estruturais a demolir daqueles a construir. No entanto, ao se tratar de um edifício histórico, optou-se por relacionar este recurso às etapas de monitoramento das estruturas, criando-se fases para distinção da estrutura afetada, em recuperação e recuperada. Inicialmente encontraram-se dificuldades para definição do filtro de fase, entre as opções “Nenhum”, “Completo”, “Demolir/Construir”, “Levantamento” e “Mostrar Tudo”. Optou-se, então, por trabalhar com o filtro “Demolir/Construir” para visualização com destaque em cores pré-definidas da região posterior do edifício que se encontra em ruína (Estrutura afetada) e daquelas com a presença de patologias (Estrutura em recuperação). Este recurso permitiu a atribuição de gráficos e padrões de superfície, tornando-se visível tridimensionalmente os elementos afetados, em processo de recuperação e recuperados.

O recurso de faseamento do Revit mostrou-se como uma ferramenta útil para a realização de acompanhamento e monitoramento da estrutura. Nesse sentido, teria sido interessante ter-se realizado uma espécie de relatório referente ao monitoramento da estrutura utilizando melhor os filtros de fases, visto que a edificação se encontra em análise para demolição e recuperação. No entanto, devido a limitações de tempo e falta de contacto direto com a construtora, não foi possível obter informações referentes às próximas etapas de recuperação do edifício.

Por fim, o estudo de caso desenvolvido neste trabalho cumpriu os objetivos pré-estabelecidos. Propiciou a sistematização da recolha e armazenamento das informações da estrutura afetada e estrutura em recuperação no modelo BIM (*Digital Twin*), facilitando a visualização do estado de conservação dos elementos estruturais e do edifício na sua globalidade, permitindo assim o gerenciamento da informação relacionada à inspeção e diagnóstico.

6.2. Desenvolvimentos futuros

Este trabalho é um contributo no campo de reabilitação do património histórico edificado com a utilização das tecnologias atuais BIM. Dessa forma, o presente estudo deixa ainda em aberto alguns quesitos que podem ser desenvolvidos em trabalhos futuros:

- Desenvolver uma família de objetos que permitam modelar de forma mais eficaz as paredes de tabique, nomeadamente as ripas, as tábuas, os ligares, as argamassas de enchimento e de revestimento, se possível, com recurso à interface de programação gráfica Dynamo;
- Utilização do *laser scanning* para acompanhamento do estado de conservação da estrutura e observação de deformações nos elementos para monitoramento da estrutura;
- Análise comparativa da inserção de dados de inspeção e diagnóstico em diferentes *softwares*, como por exemplo entre o Revit e o Archicad;
- Utilização de programação aliada ao Navisworks para inserção de dados de ficha de inspeção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autodesk Knowledge Networks (2002). *Revit* versão 2023. [Software]. Autodesk. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>

BIM Dictionary. (2019). *Bimdictionary*. Disponível em: <https://bimdictionary.com/en/level-of-x/1>. Acesso em janeiro de 2024.

BIMObjects (2024). Disponível em: <https://www.bimobject.com/pt>. Acesso em fevereiro de 2024.

BIMCollab (2012). *BIMCollab*. Disponível em: <https://www.bimcollab.com>. Acesso em março de 2024.

Brito, J. (2004). *Diagnóstico, patologia e reabilitação de construção de madeira*. Apontamentos da cadeira de inspeção, patologia e reabilitação de edifícios, Universidade de Coimbra, Portugal.

Brito, L. D. (2014). *Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação* [Tese de Doutoramento], Universidade de São Paulo, Brasil.

BUILDING SMART. *BIM Collaboration Format (BCF)*. s.d. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/bim-collaborationformat-bcf/>. Acesso em: 31 out. 2024.

Cardoso, R. J. S. (2013). *Caracterização da construção em tabique de Lamego e Alto Douro* [Tese de Doutoramento], Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Cogima, C. K.; Nascimento, R. V. C.; Paiva, P. V. V.; Carvalho, M. A. G.; Dezen-Kempter, E. (2020). *Scan-to-HBIM aplicado à igreja da Pampulha de Oscar Niemeyer*. *Gestão e Tecnologia de Projetos*, São Carlos, v.15, n.1, p.117-134. <http://dx.doi.org/10.116/gtp.v14i1.152828>

Comissão Europeia. (2002) *Eurocódigo 1: Acções em estruturas (EN 1991)* [Norma europeia]. Caparica, Portugal.

Dias, T. I. de M. P. (2008). *Pavimentos de madeira em edifícios antigos: diagnóstico e intervenção estrutural* [Dissertação de Mestrado], Universidade do Porto, Portugal.

Eastman, C., Telcholz, P., Sacks, R., Liston, K (2014). *Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Editora Bookman.

Fabrcio, M. M. (2022). *HBIM Aplicado à Gest3o e Conserva33o do Patrim3nio*. LabAm Laborat3rio do Ambiente. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=a0mqQw8K74o>. Acesso em jan. De 2024.

Fernandes, C. R. (2015). *Avalia33o Experimental do Comportamento Mec4nico de Paredes de Tabique* [Disserta33o de Mestrado], Instituto Polit3cnico de Viseu, Portugal.

Ferreira, J. A. de A. (2010). *T3cnicas de diagn3stico de patologias em edifcios* [Disserta33o de Mestrado], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Ferreira, N. F. de O. (2009). *T3cnicas de liga33o pavimentos/paredes em reabilita33o de edifcios antigos* [Disserta33o de Mestrado], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Ferreira, R. A. A. (2017). *Lugar de tempos reabilita33o da antiga moagem de Alenquer* [Disserta33o de Mestrado], Instituto Universit3rio de Lisboa, Portugal.

Google Maps (2024). Dispon3vel em: https://www.google.com/maps/place/R.+Gon%C3%A7alinho+33,+3500-137+Viseu/@40.6590994,-7.911559,786m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0xd23364e6a1f6c79:0x7d15115a84fd749a!8m2!3d40.6590954!4d-7.9089841!16s%2Fg%2F11csdgp8qn?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI0MTAyMC4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D. Acesso em 11 de mar3o de 2024.

Graphisoft. (1984). *Archicad* (Vers3o 24) [Software]. Graphisoft. Dispon3vel em: <https://www.graphisoft.com>

Haag, S., Anderl, R. (2018). *Digital twin – Proof of concept*. Manufacturing Letters, 15, 64–66. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.02.006>

Ilharco, T., Guedes, J. M., Costa, A., Quelhas, B., Lopes, V., & Gon3alves, R. (2018). *Caracteriza33o de pavimentos antigos de madeira atrav3s de identifica33o din4mica*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. Ed. LNEC. S3rie III, n3o 8, 85–94.

Lei n.º 32/2012, de 14 de Agosto. Disponível em: <https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_print_articulado.php?tabela=leis&artigo_id=&nid=1780&nversao=&tabela=leis>. Acesso em: 7 de novembro de 2023.

Level of Development (LOD) Specification – *BIM Forum*. (2023, December 28). Bimforum.org.<https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>

Lima, R., Araújo, B. G., Paz, G., & Oliveira, I. M. (2017). *Mapa de danos de edificações históricas utilizando a metodologia BIM*. 1º Simpósio Brasileiro de Tecnologia Da Informação E Comunicação Na Construção. 10º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção. Ceará, Brasil.

Lladró, R. C., Barra, R. D., Botelho, J., & Faria, A. (2006). *Avaliação da Capacidade Resistente de Estruturas de Madeira com recurso a ensaios in-situ*. PATORREB2006, 2º Encontro Sobre Patologia E Reabilitação Dos Edifícios., 1, 139–148.

Lopes, J. D. O. (2017). *Utilização da metodologia BIM no apoio à reabilitação funcional de um edifício* [Dissertação de Mestrado], Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Mendonça, M. N. de C. (2023). *Caracterização in situ dos elementos estruturais em madeira de um edifício situado no centro histórico de Viseu* [Dissertação de Mestrado], Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.

Model validation and issue management for BIM. (n.d.). BIMCollab. <https://www.BIMCollab.com/pt/>

Moreira, M. F. J. (2009). *Reabilitação de estruturas de madeira em edifícios antigos* [Dissertação de Mestrado], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

Moreno, C.A. (2019). Peças desenhadas do edifício situado na Rua do Gonçalinho nº 33, Viseu, Portugal.

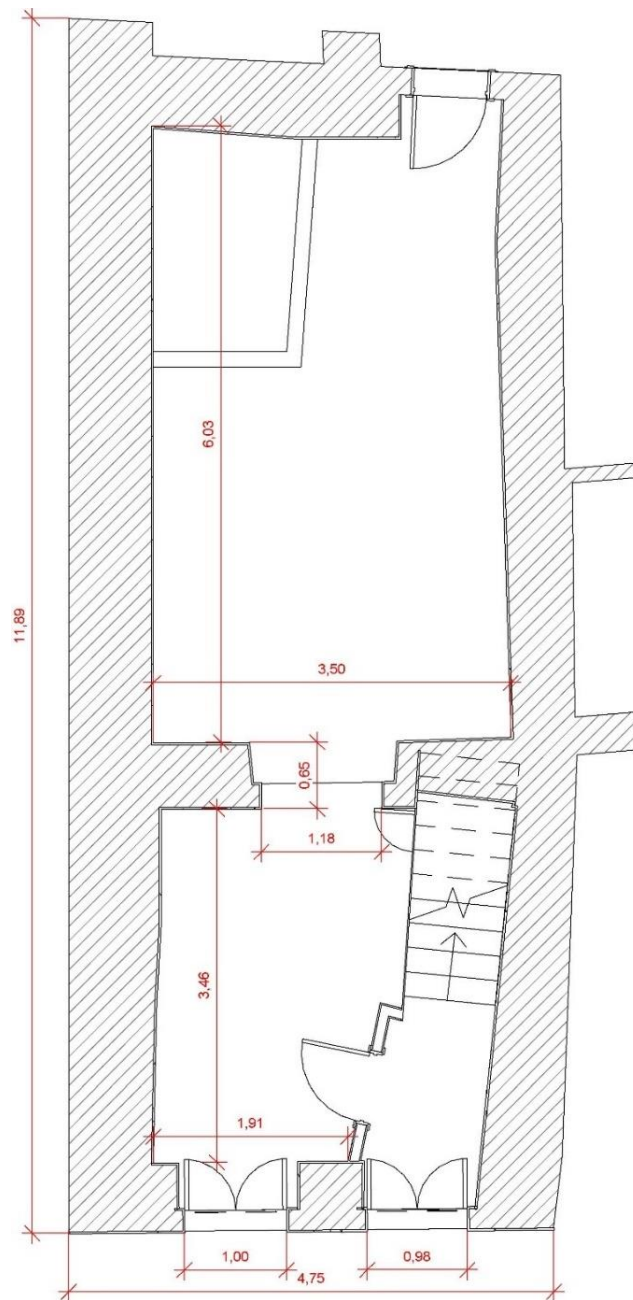
Ordem dos Arquitectos Secção Regional Sul (OASRS). (2016). *Reabilitação e conservação do património arquitetónico*. Vol. 4. Disponível em: https://oasrs.org/media/uploads/4_CT_Conservacao.pdf. Acesso: Janeiro de 2024.

Padrão, J., Pinto, J., Guedes, J. M. (2020). *As paredes de tabique em Viseu – Detalhes construtivos e caracterização material*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. Ed. LNEC. Série III. n.º 14. ISSN 2183-8488. 71-84.

- Rangel, C. M. (2019). *Catálogo de materiais e anomalias típicas de edifícios antigos de alvenaria de pedra e madeira com recurso a BIM* [Dissertação de Mestrado], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- Rocha, G., Mateus, L., Fernández, J., Ferreira, V. (2020). *A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings*. *Heritage*, 3, 47 – 67.
- Rodrigues, M. A. (2022). *Caracterização das ligações metálicas na reabilitação de paredes de tabique em edifícios do centro histórico de Viseu* [Dissertação de Mestrado], Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.
- Schenk, T. (2005). *Introduction to Photogrammetry*. The Ohio State University, Estados Unidos.
- Serpa, R. P. P. (2015). *Caracterização dinâmica de um edifício existente de betão armado através de ensaios de vibração ambiental* [Dissertação de Mestrado], Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal.
- Silva, F. B. L. da . (2021). *HBIM aplicado à documentação diagnóstica do patrimônio cultural moderno: Edifício EI – USP São Carlos* [Dissertação de Mestrado], Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, Brasil.
- Silva, L. de F. (2001). *BIM na Reabilitação de Edifícios Históricos: Implementação em escritório de arquitetura. Estudo de caso de edifício no Largo da Oliveira, Guimarães* [Dissertação de Mestrado], Universidade do Minho, Braga, Portugal.
- Souza, V. C. M. De, Ripper, T. (2009). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto* (1st ed., p. 14). PINI. (Original work published 1998), São Paulo, Brasil
- Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). *Digital twin modeling*. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 372–389. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015>
- Teixeira, J. J. L. (2004). *Descrição do sistema construtivo da casa burguesa do Porto entre os séculos XVII e XIX* [Trabalho de síntese].
- TQS Informática. (2002). *TQS* [Software]. TQS Informática. <https://www.tqs.com.br>
- Venâncio, M. J. L. (2015). *Avaliação da implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal* [Dissertação de Mestrado], Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

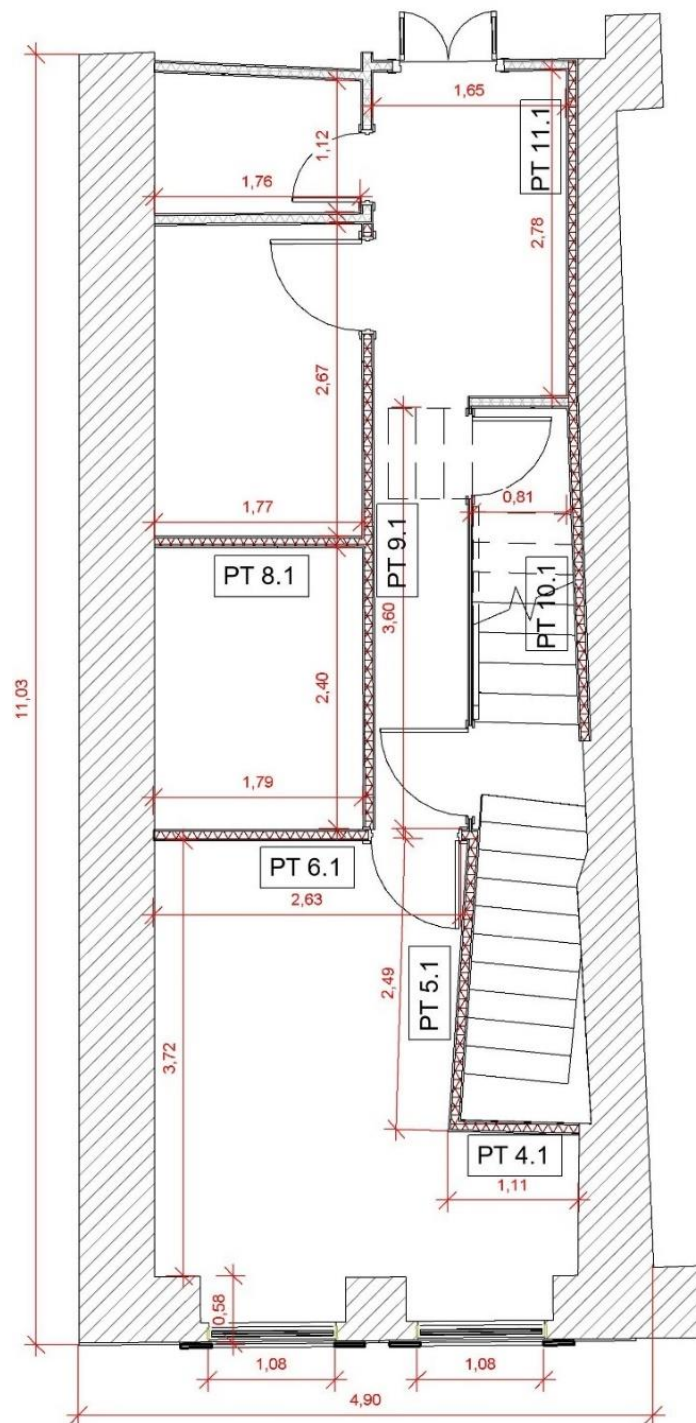
APÊNDICES

APÊNDICE A – Plantas arquitetônicas com nomenclatura das paredes de tabique (PT)



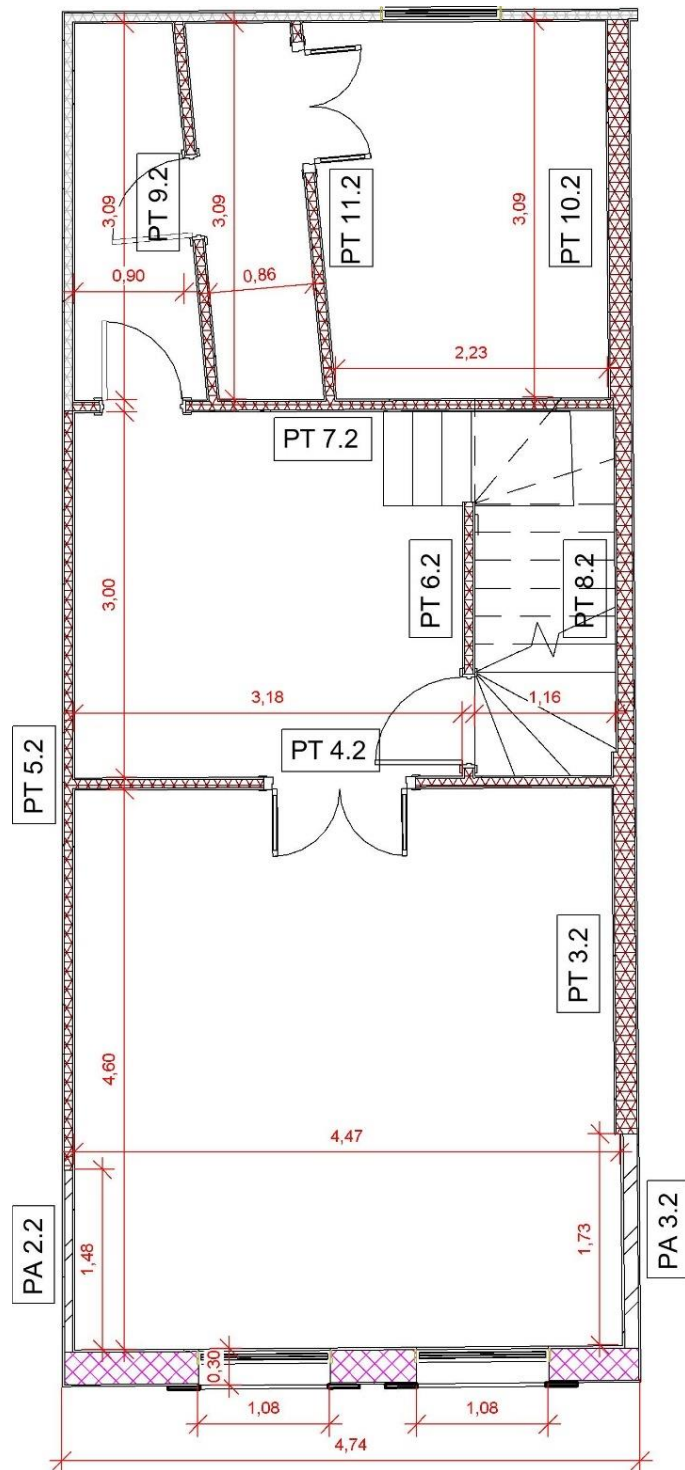
Legenda	
	Parede de pedra
	Parede de alvenaria de tijolo maciço
	Parede de tabique não inspecionada
	Parede de tabique inspecionada

Figura AP.A 1 - Planta arquitetônico do Piso 0



Legenda	
	Parede de pedra
	Parede de alvenaria de tijolo maciço
	Parede de tabique não inspecionada
	Parede de tabique inspecionada

Figura AP.A 2 - Planta arquitetônica do Piso 1







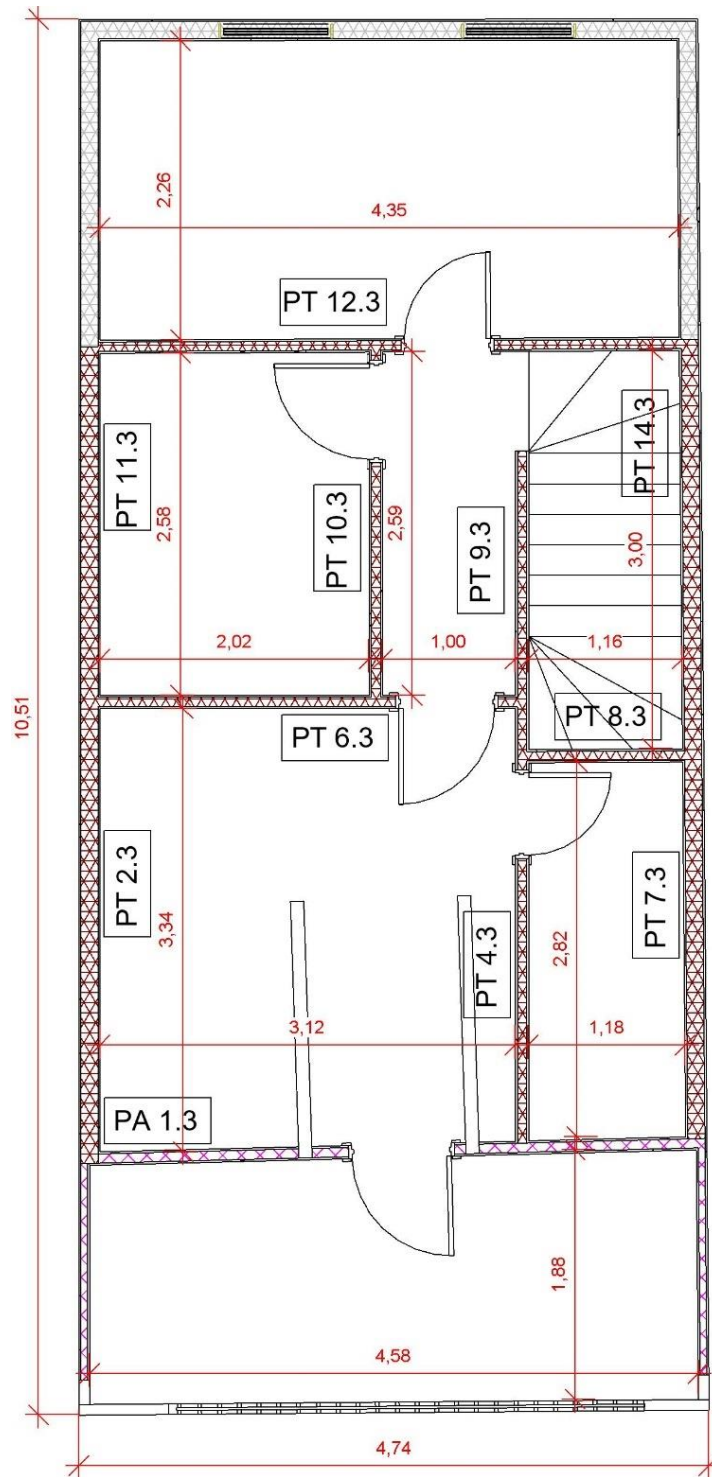
Legenda	
	Parede de pedra
	Parede de alvenaria de tijolo maciço
	Parede de tabique não inspecionada
	Parede de tabique inspecionada

Figura AP.A 3 - Planta arquitetônica do Piso 2







Legenda	
	Parede de pedra
	Parede de alvenaria de tijolo maciço
	Parede de tabique não inspecionada
	Parede de tabique inspecionada

Figura AP.A 4 - Planta arquitetónica do Piso 3

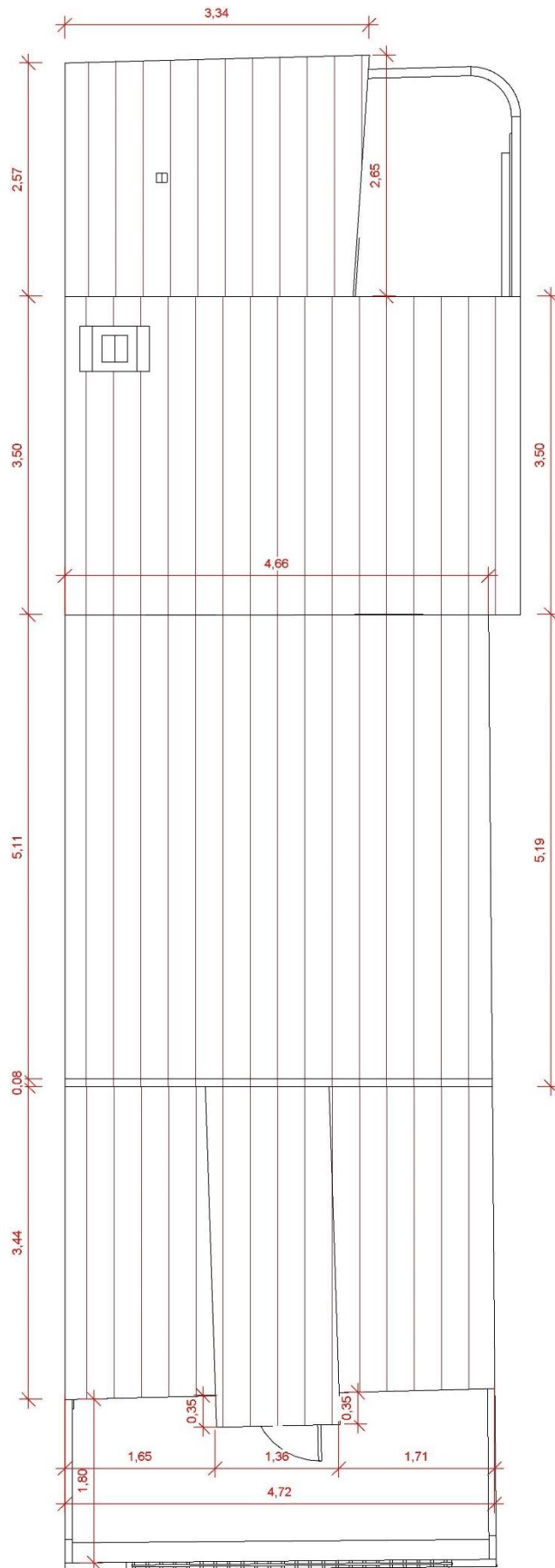
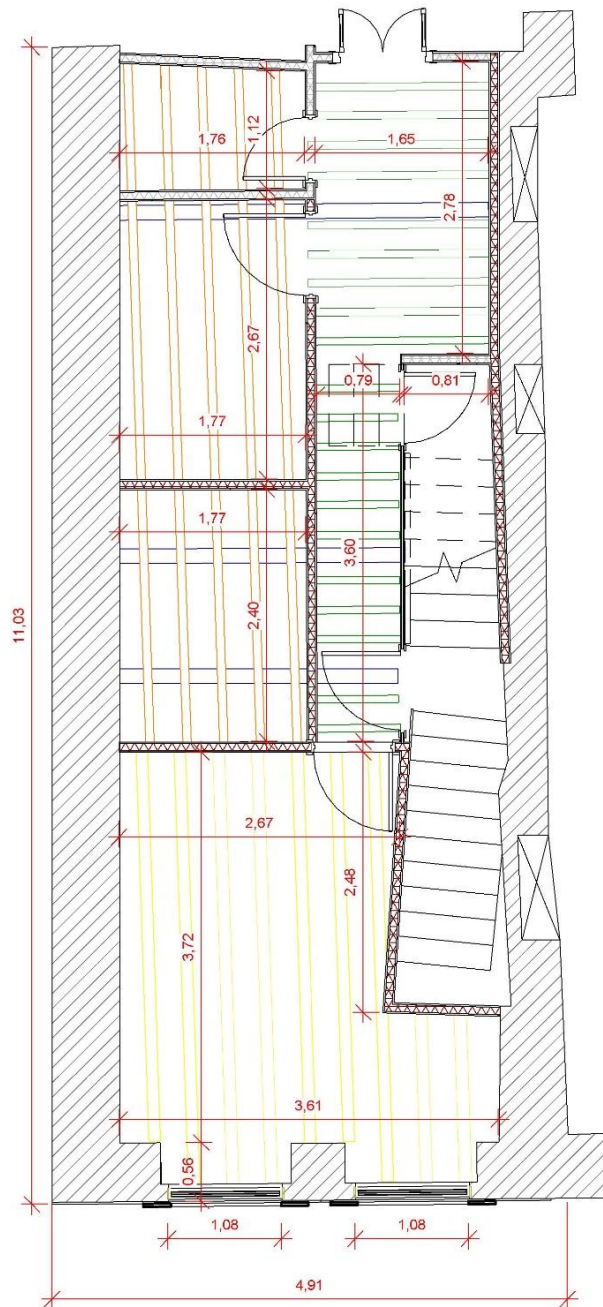


Figura AP.A 5 - Planta arquitetónica da cobertura

APÊNDICE B – Plantas estruturais com disposição das vigas



Legenda: Seção das vigas





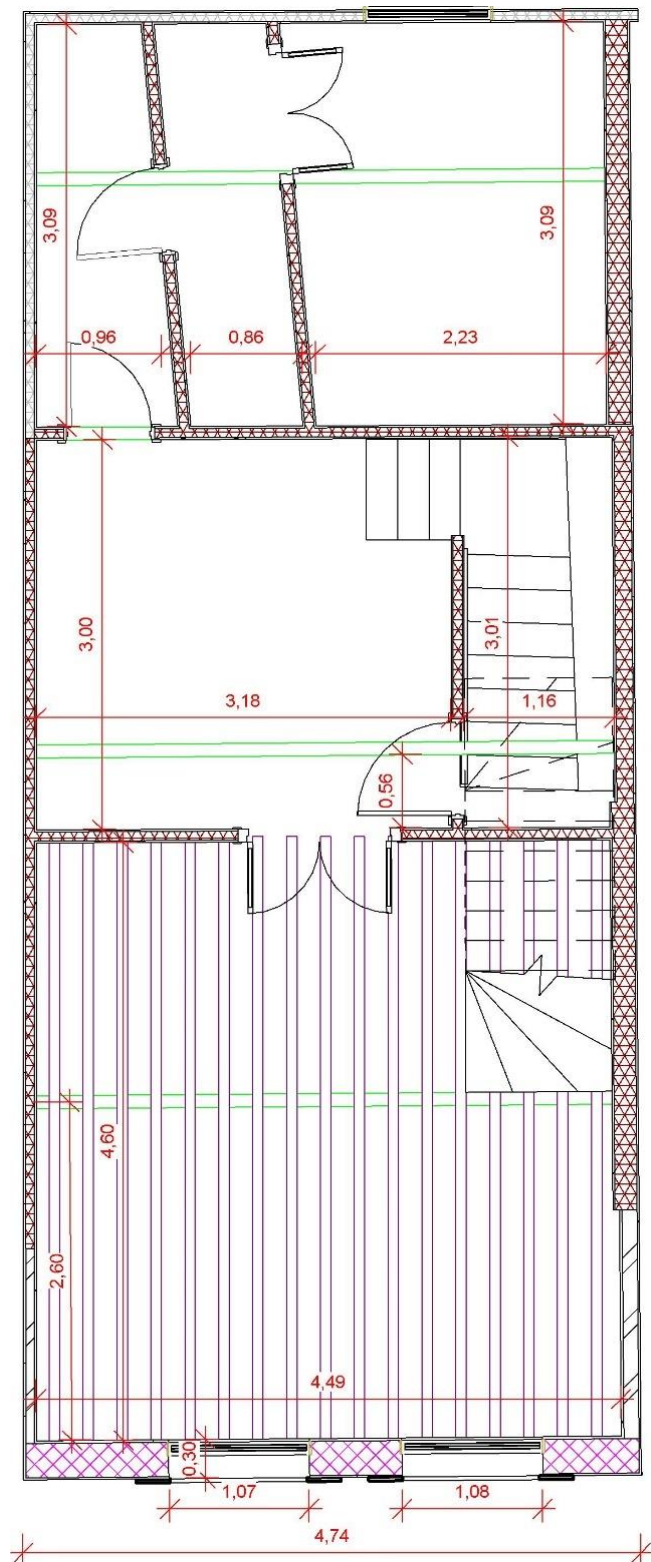
-  Viga 21 x 14 cm
-  Viga 10 x 7 cm
-  Viga 15 x 8 cm
-  Viga 13 x 11 cm

Figura AP.B 1 - Planta estrutural do Piso 1



Legenda: Seção das vigas



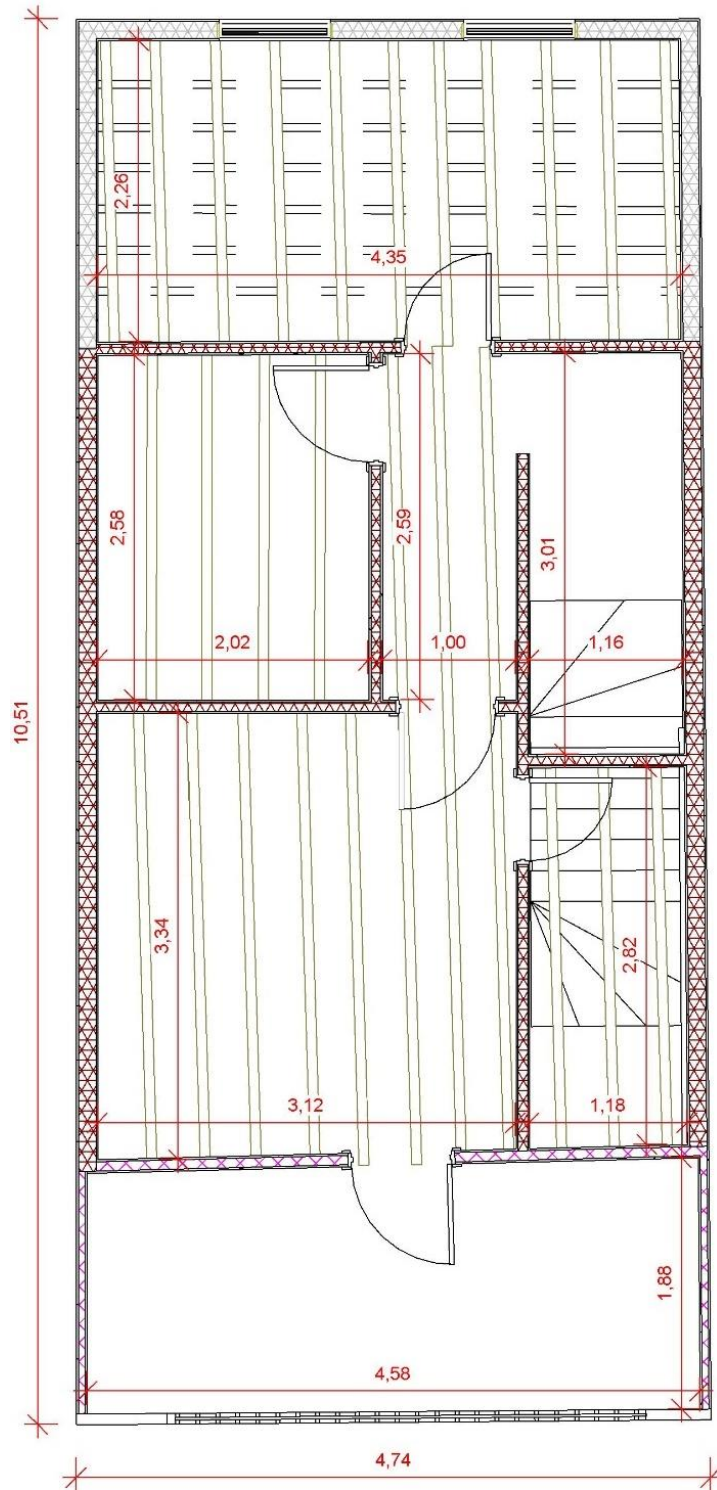
	Viga 30 x 10 cm
	Viga 8 x 8 cm

Figura AP.B 2 - Planta estrutural do Piso 2



Legenda: Seção das vigas

□	Viga 18 x 7,5 cm
- - -	Viga 6 x 7 cm

Figura AP.B 3 - Planta estrutural do Piso 3

APÊNDICE C – Localização do ensaio de vibração ambiental

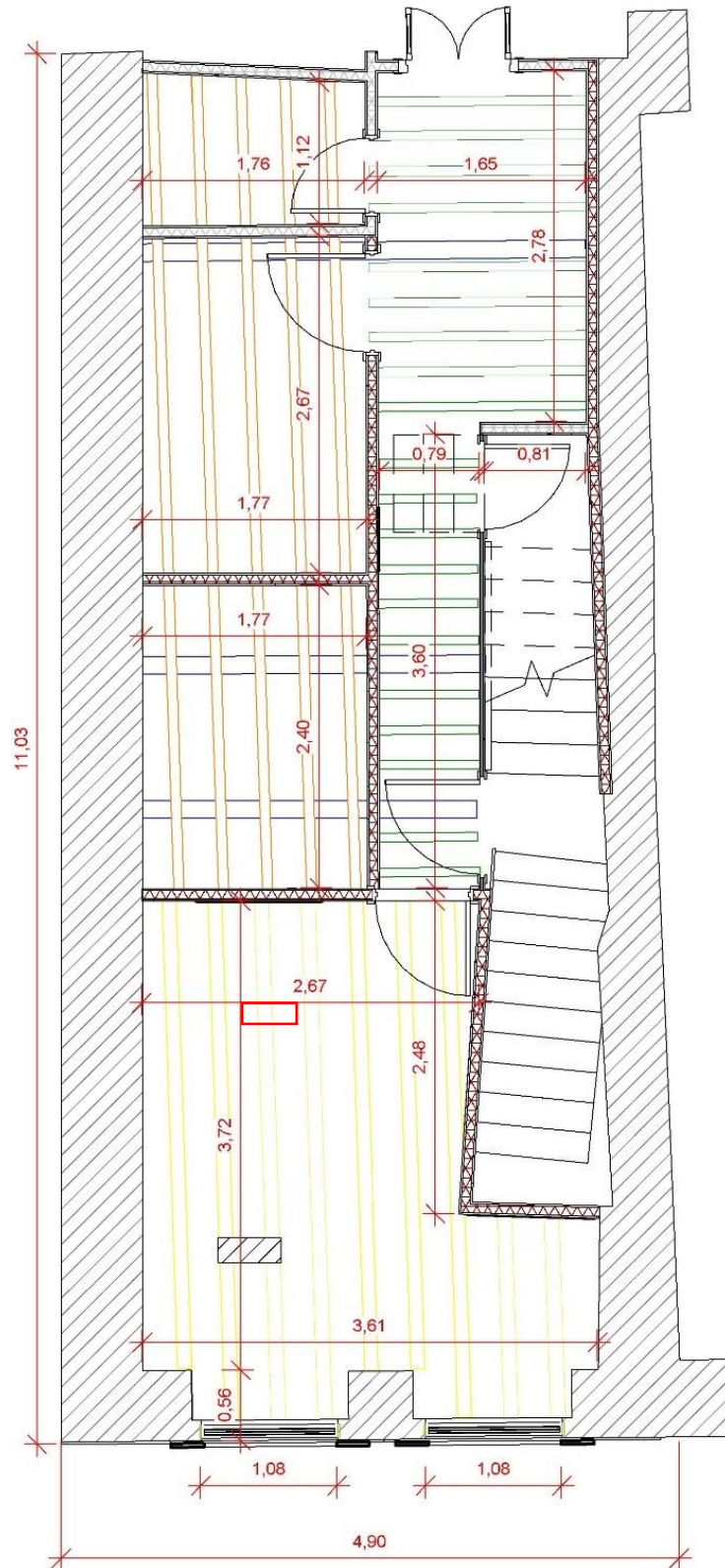


Figura AP.C 1 - Localização do sismógrafo no Piso 1

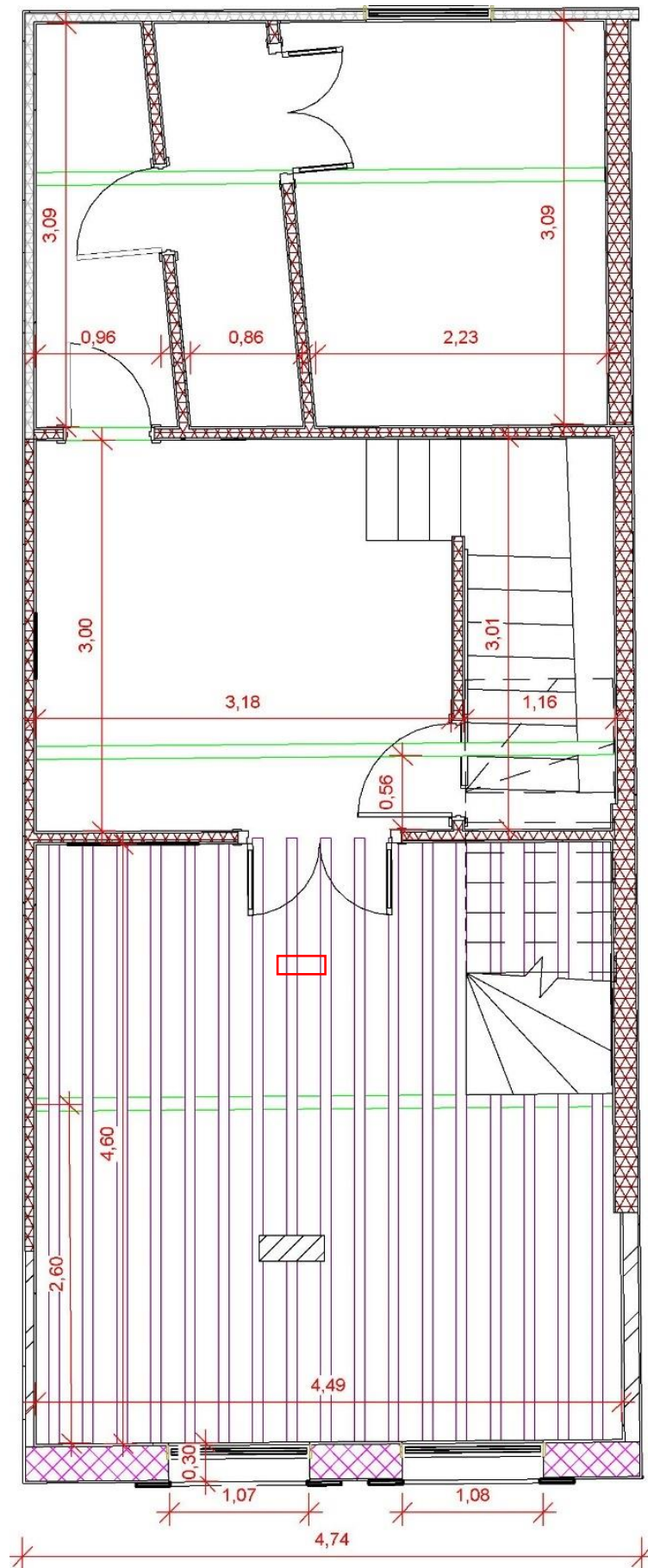


Figura AP.C 2 - Localização do sismógrafo no Piso 2

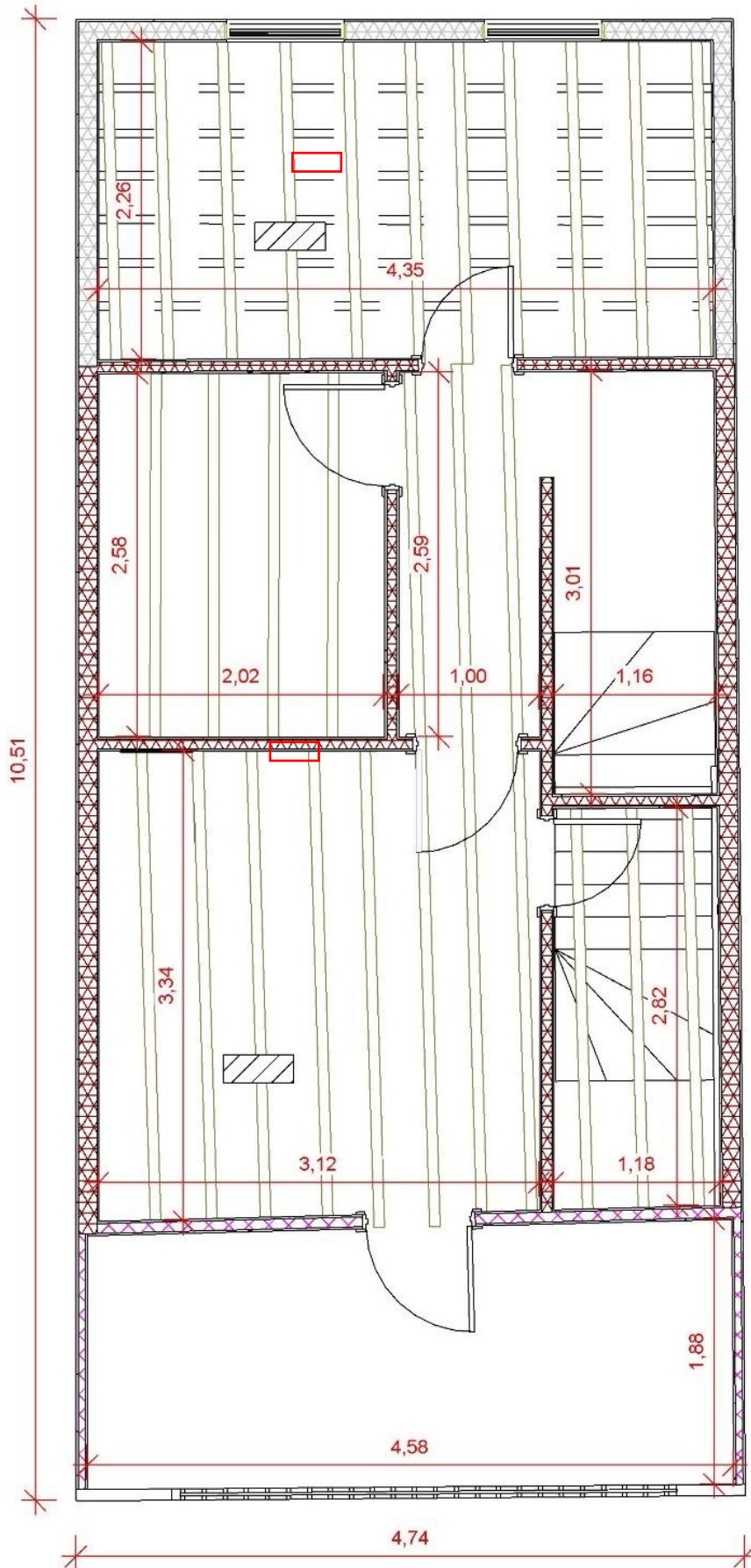


Figura AP.C 3 - Localização do sismógrafo no Piso 3

APÊNDICE D – Alçados

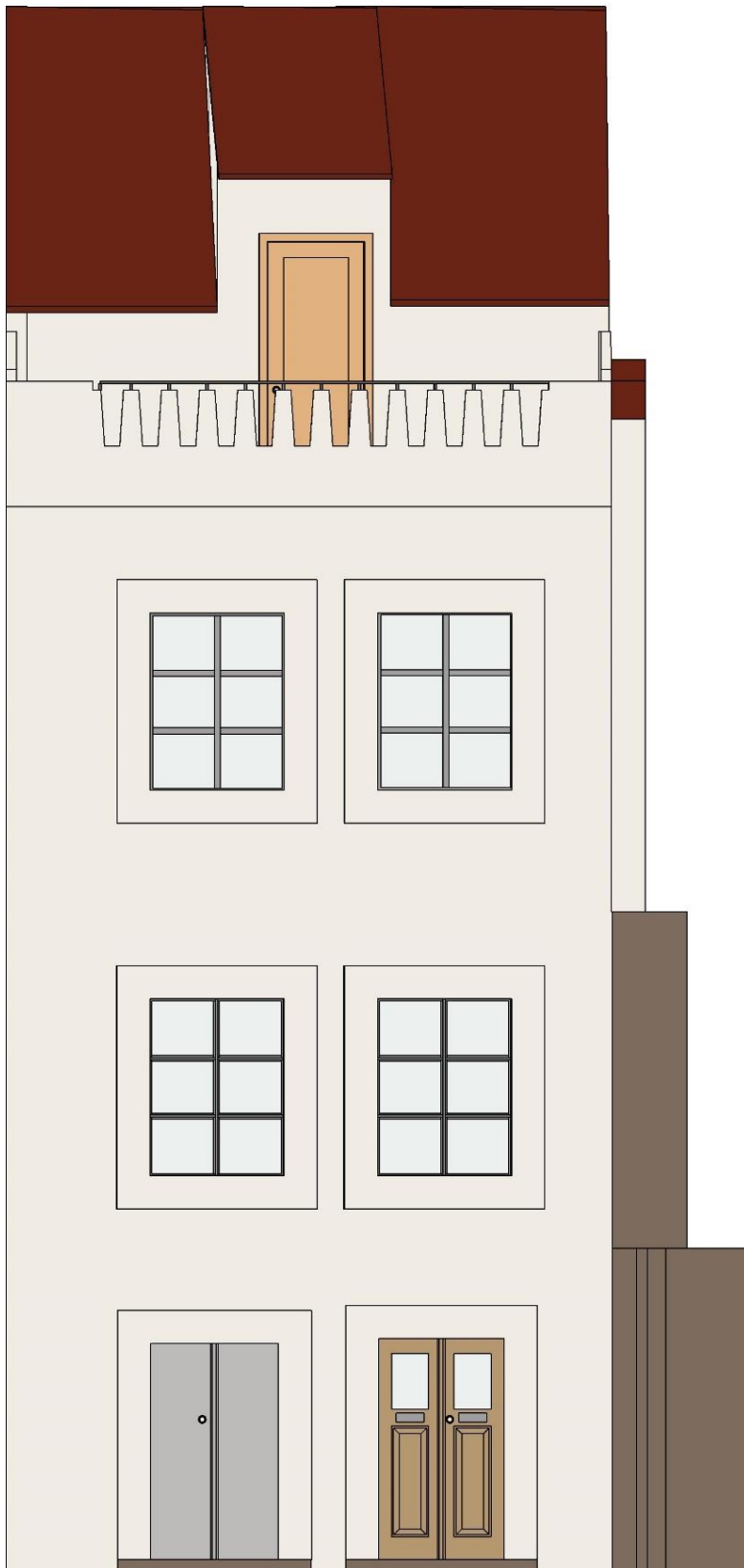


Figura AP.D 1 - Alçado principal

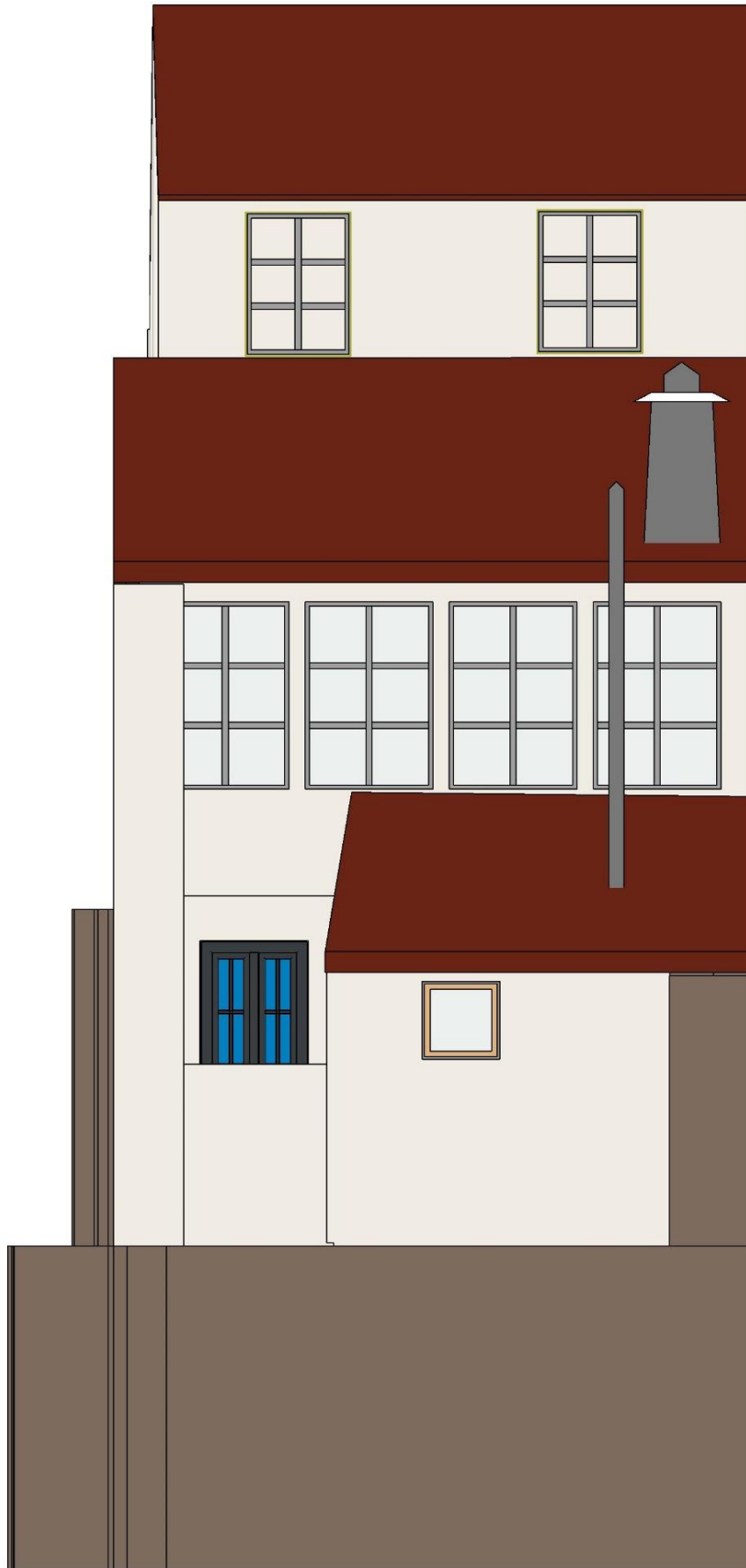


Figura AP.D 2 - Alçado posterior

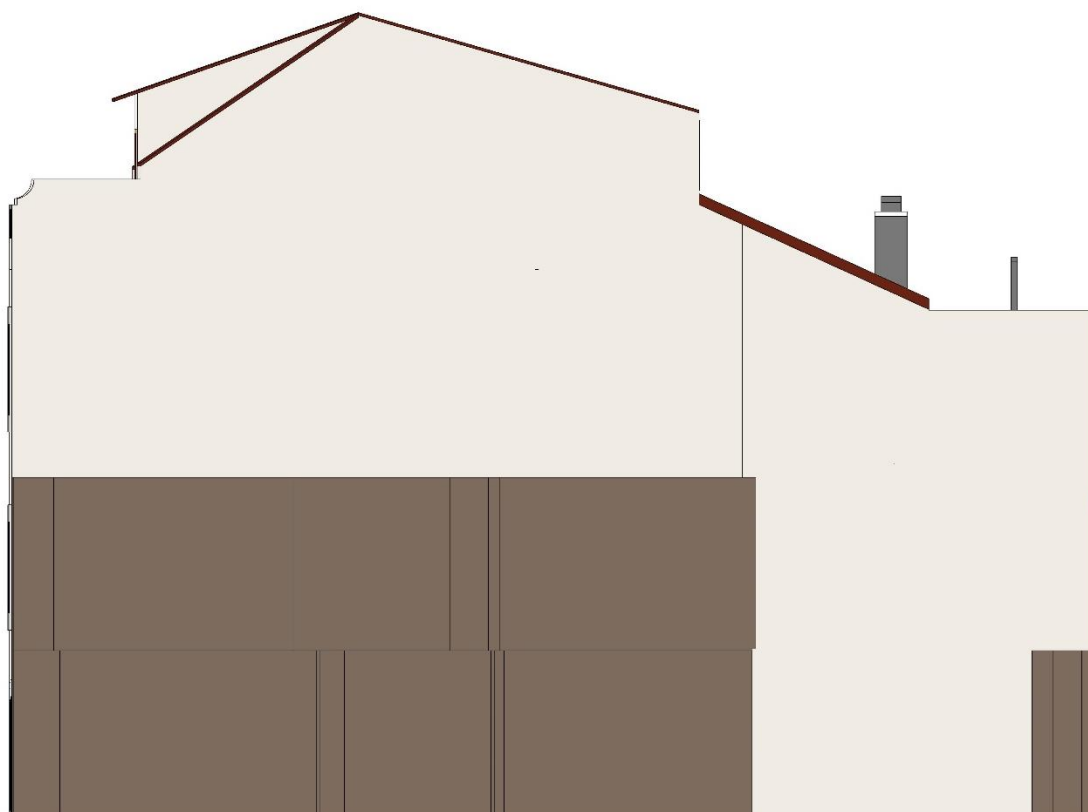


Figura AP.D 3 - Alçado lateral direito

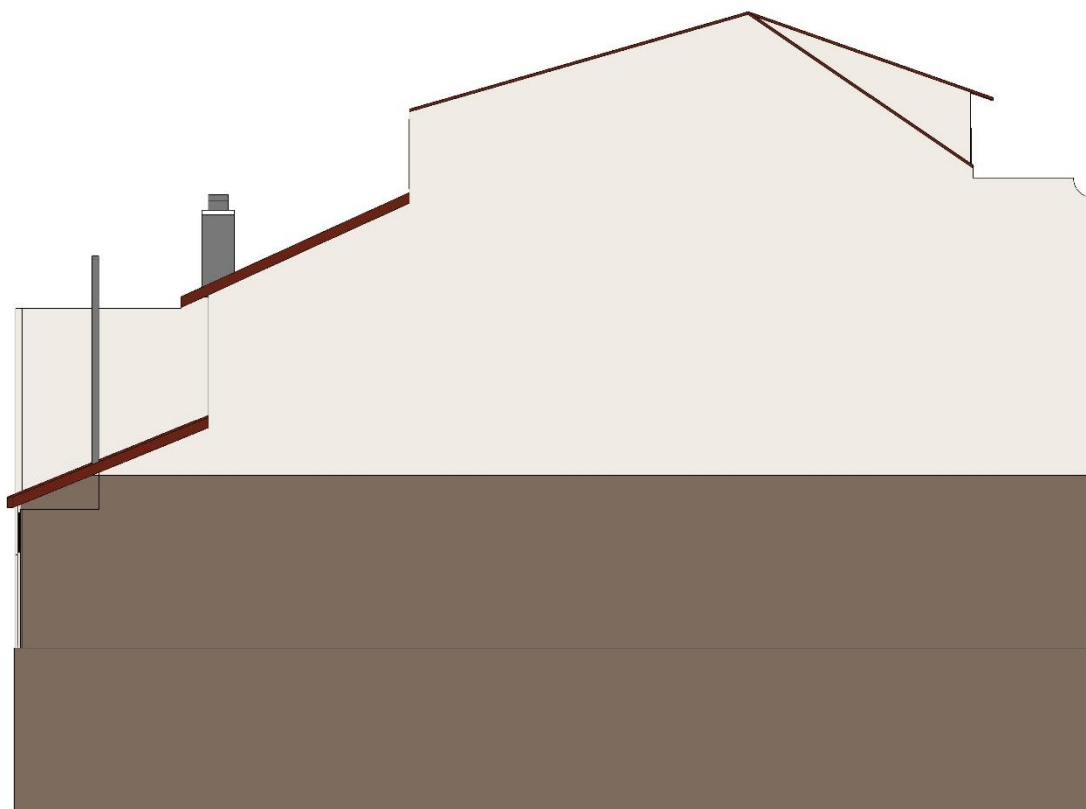


Figura AP.D 4 - Alçado lateral esquerdo

APÊNDICE E – Perspectiva isométrica

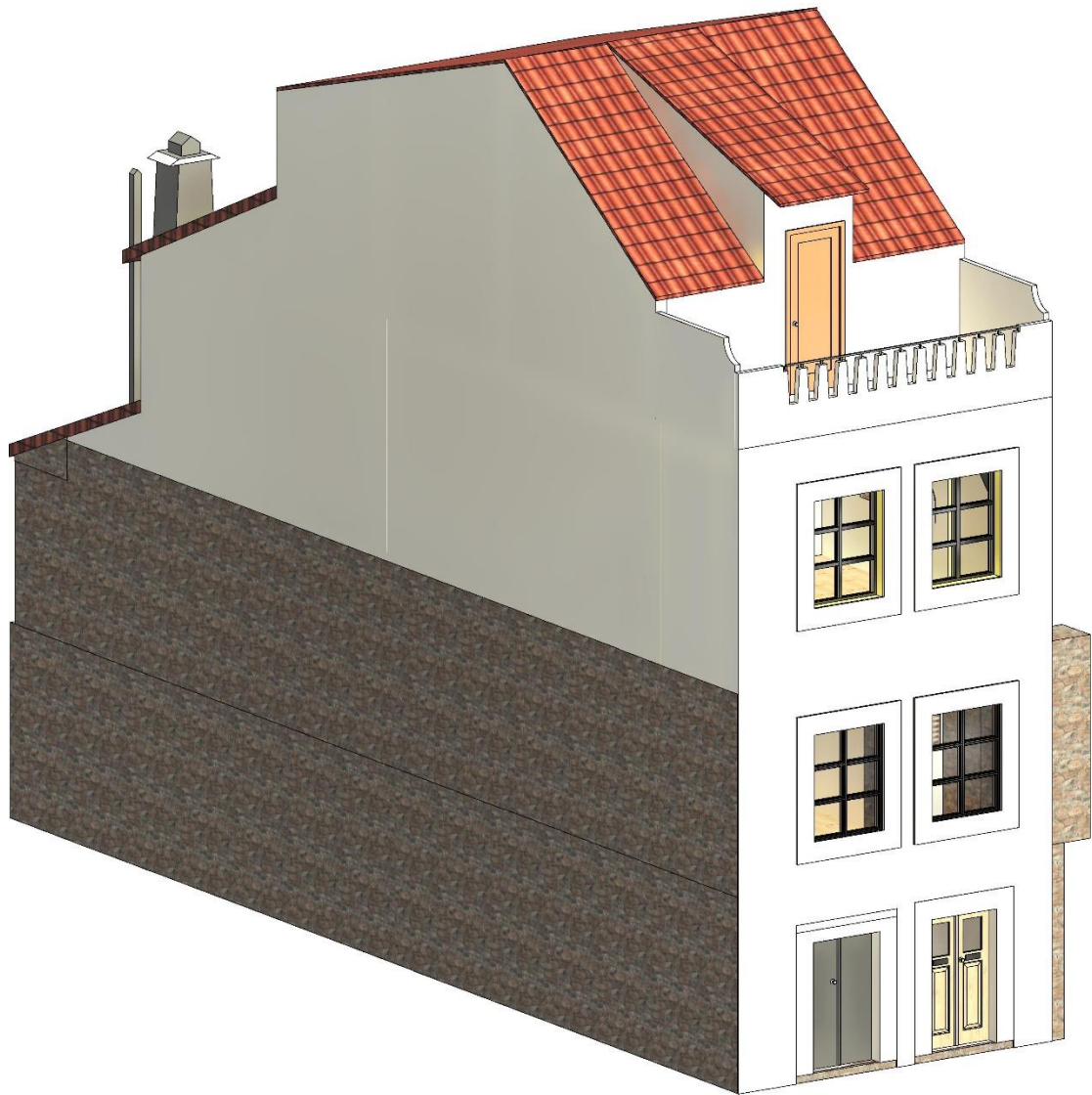


Figura AP.E 1 - Perspectiva isométrica

APÊNDICE F – Interface BIMCollab Cloud

Patologias - dissertação

All 7 issues

New issue Import Report Filter Columns

Show all All open Open for me

Snapshot	Nr	Title	Assigned to	Area	Milestone	Deadline	Labels	Priority	Type	Status
	1	Sujeidades no alçado principal	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active
	2	Destacamento do reboco na PT 3.2	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active
	3	Humidade na PA 3.2	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active
	4	Fendilhação na PT 10.2	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active
	5	Fendilhação na PT 8.2	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active
	6	Fissuração na PT 3.2	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active
	7	Fissuração na PT 5.2	Juliane Kuser		Undecided			Normal	Issue	Active

Tabela AP.F 1 - Interface do BIMCollab Cloud

ANEXOS

ANEXO A – Plantas arquitetônicas de Cecília Moreno

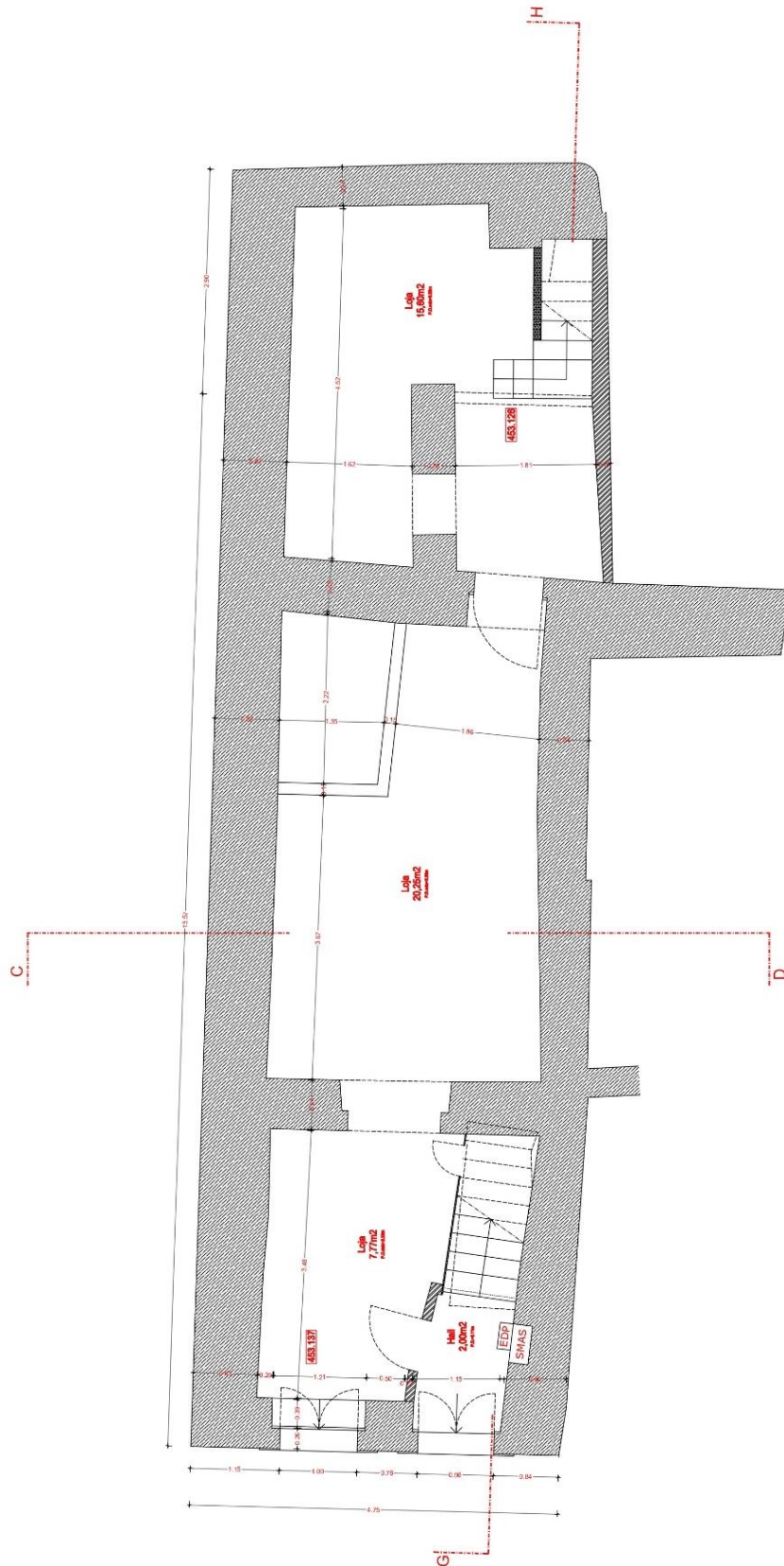


Figura AN.A 1 - Planta arquitetônica do Piso 0

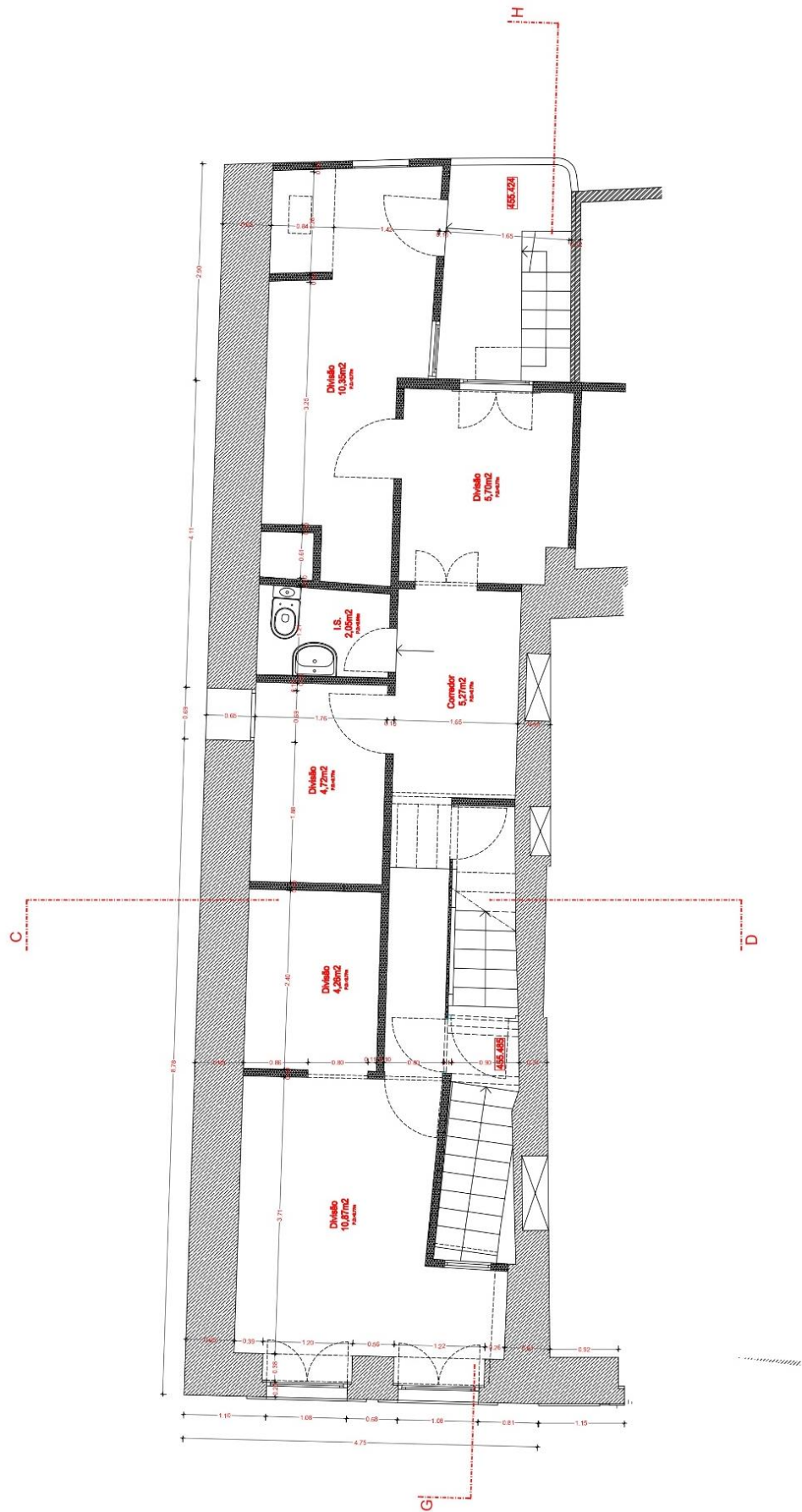


Figura AN.A 2 – Planta arquitetônica do Piso 1

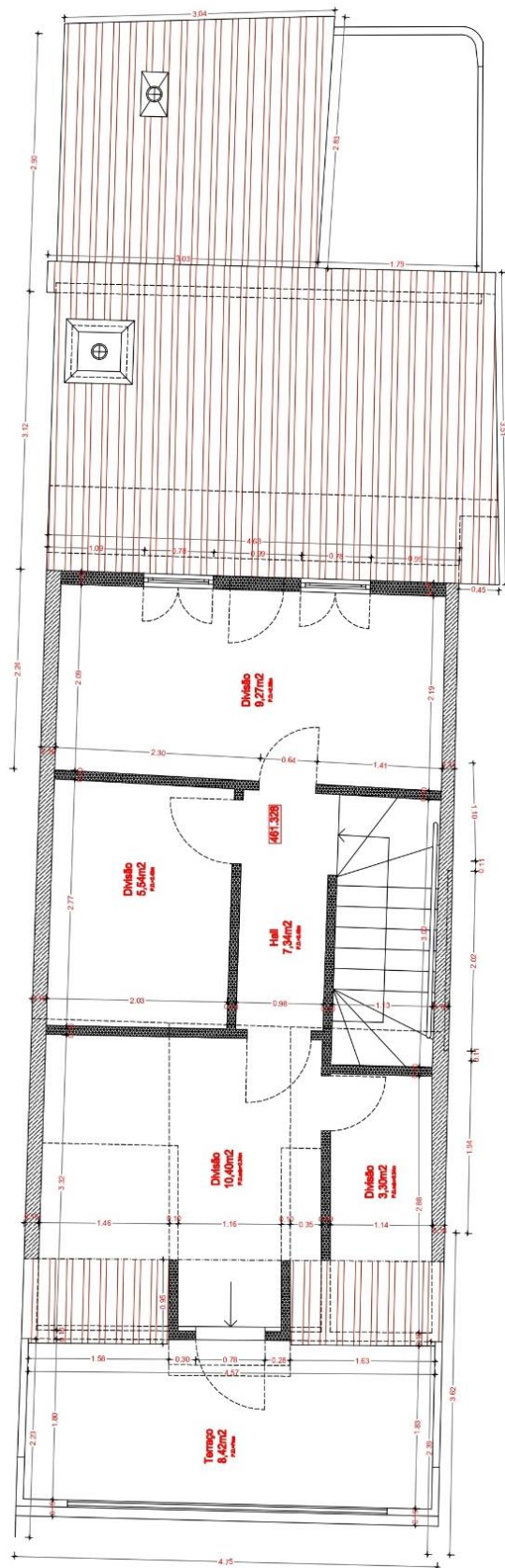


Figura AN.A 4 – Planta arquitetônica do Piso 3



Figura AN.A 6 - Alçado principal

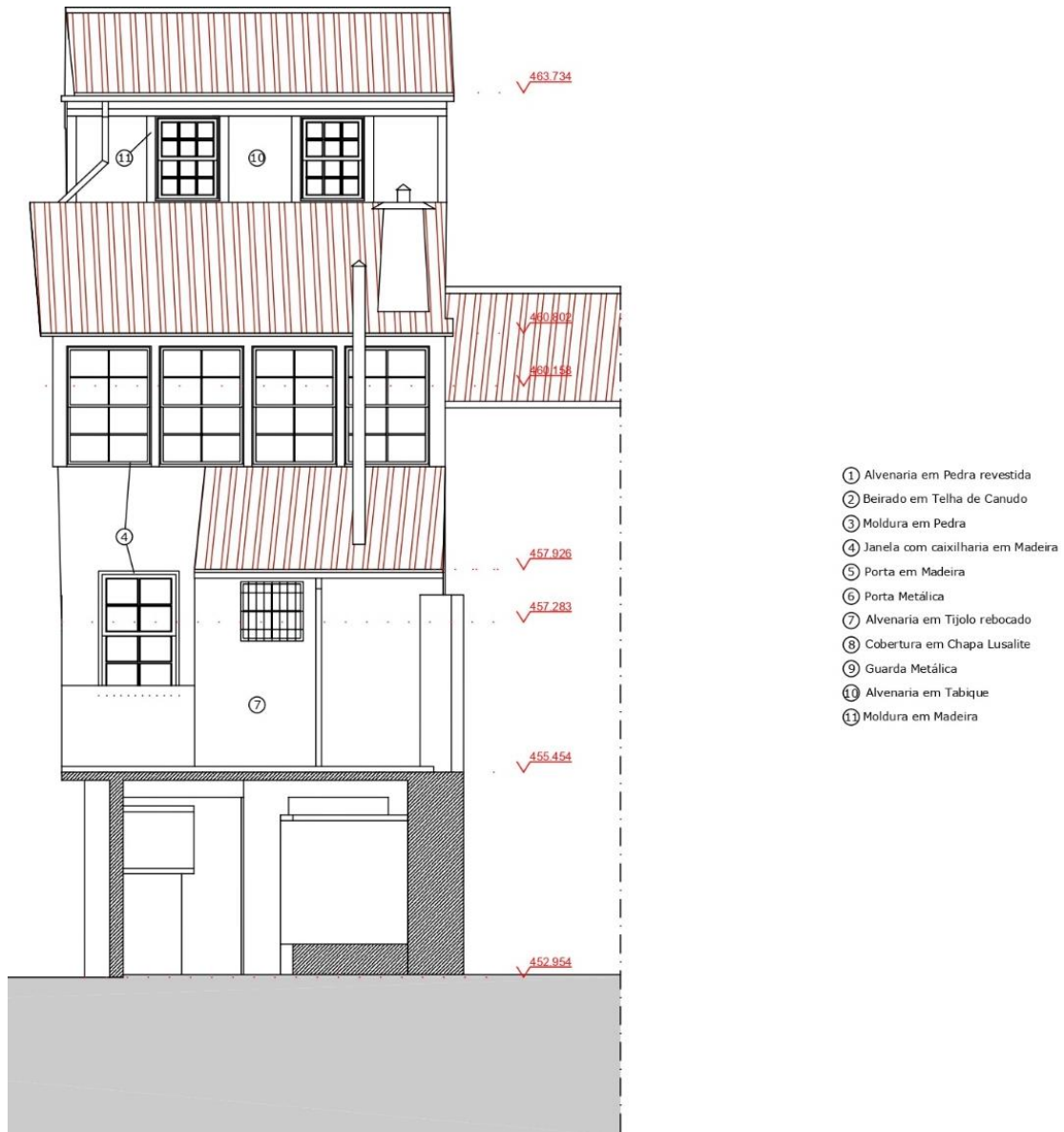


Figura AN.A 7 - Alçado posterior

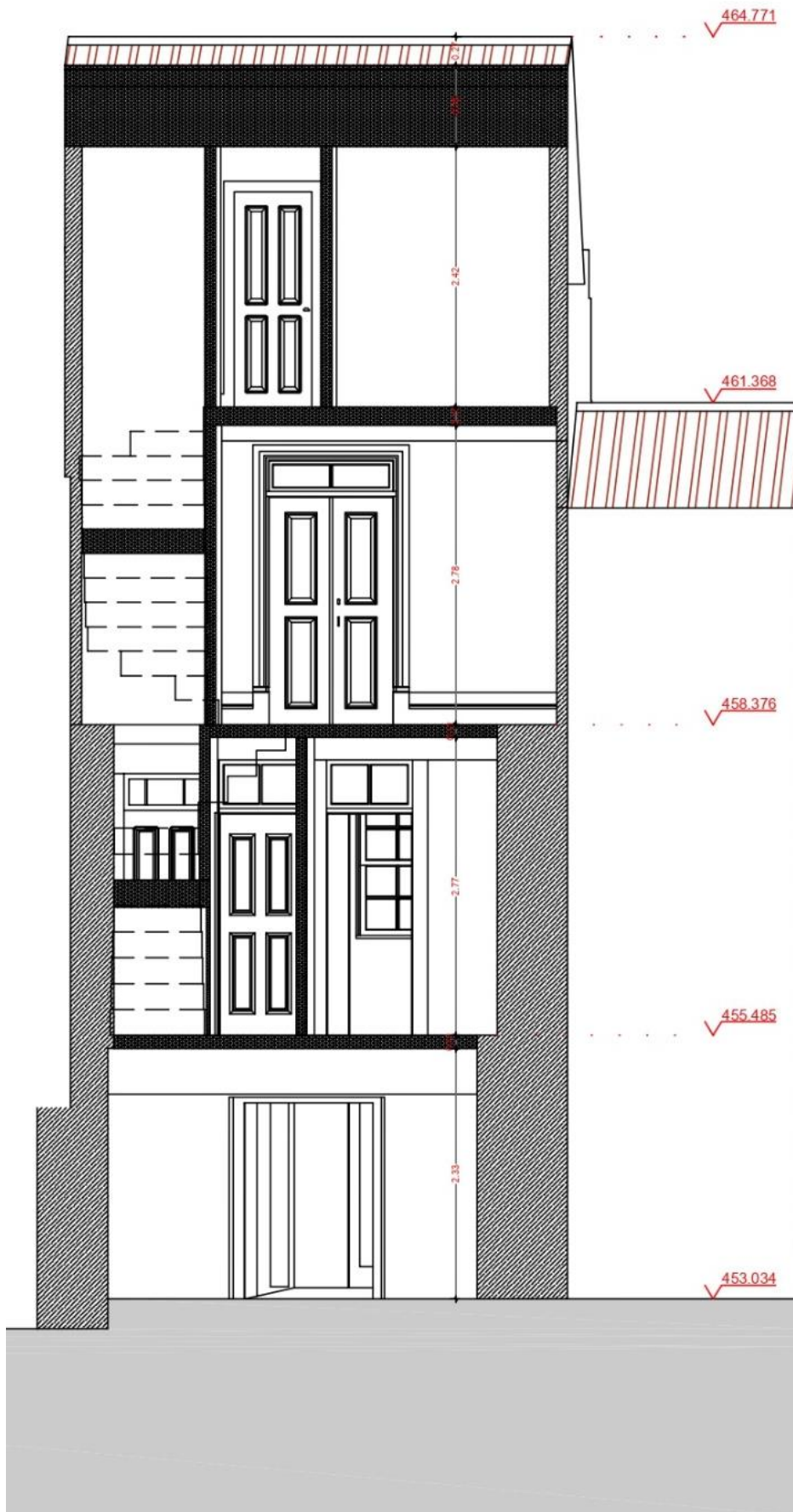


Figura AN.A 8 - Corte CD

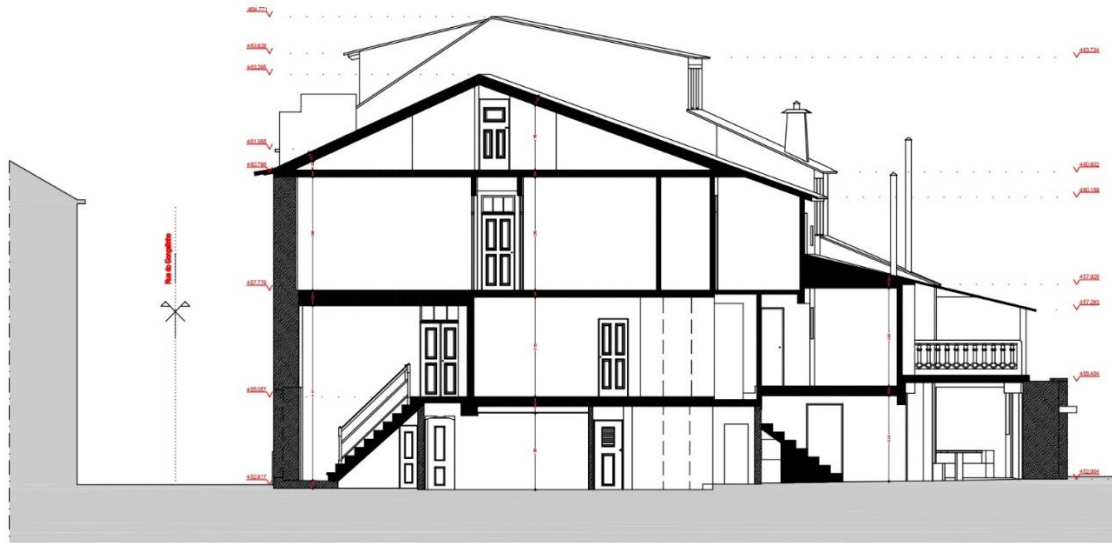
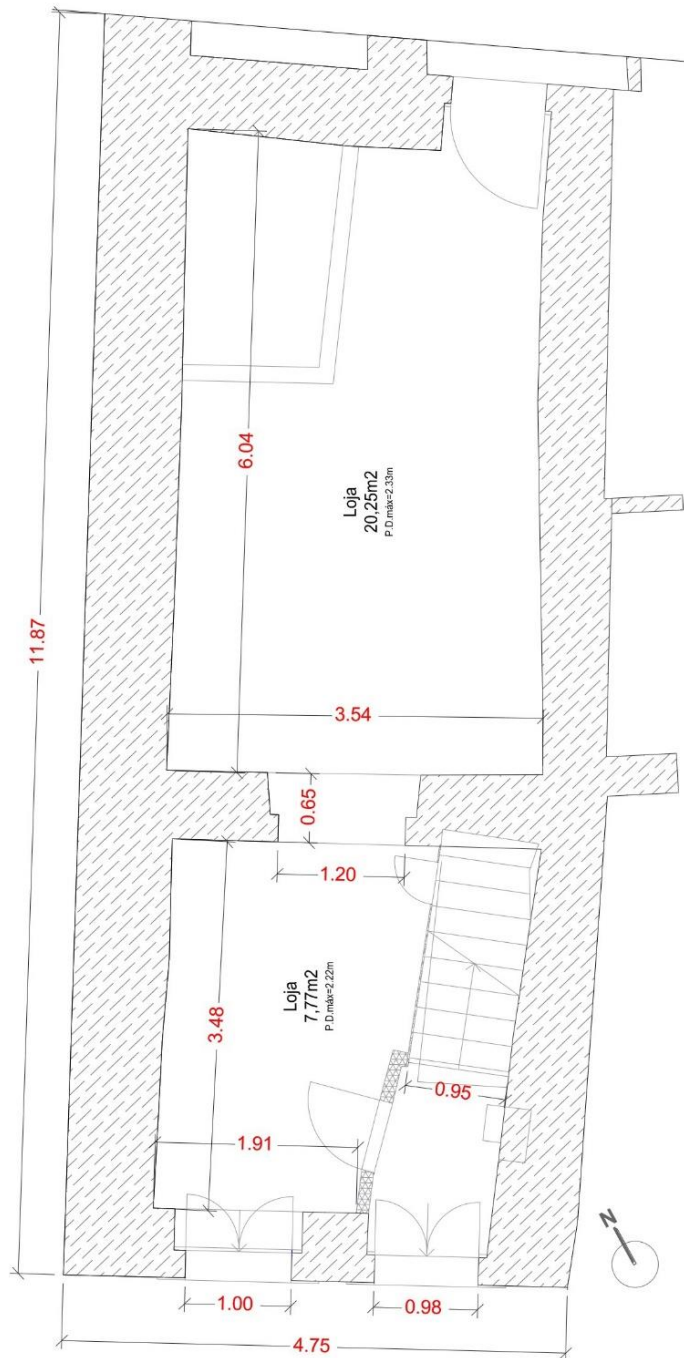


Figura AN.A 9 - Corte GH

ANEXO B – Plantas arquitetônicas e estruturais de Mendonça

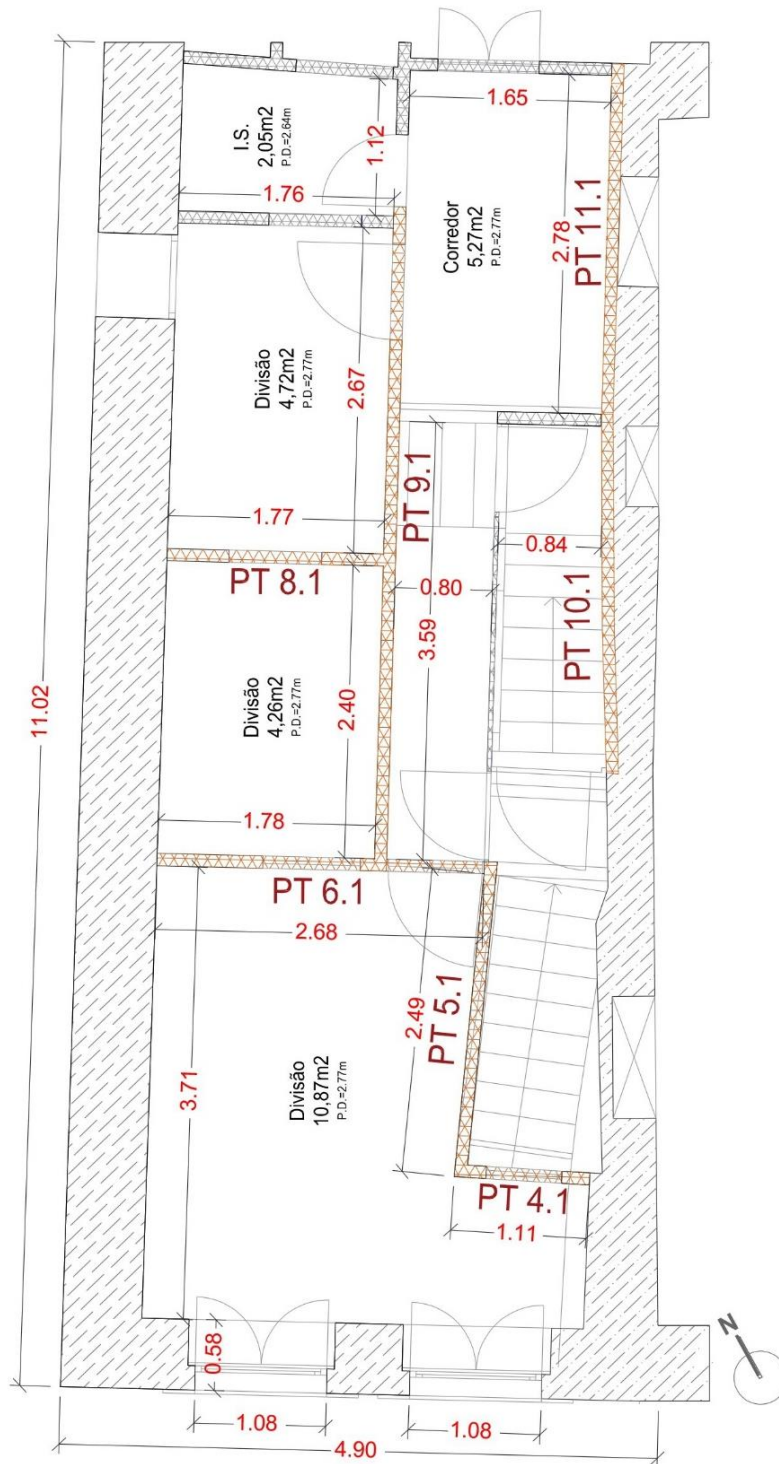


ALÇADO PRINCIPAL - PISO 0

LEGENDA

	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique (PT) inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

Figura AN.B 1 – Localização das P.T no Piso 0

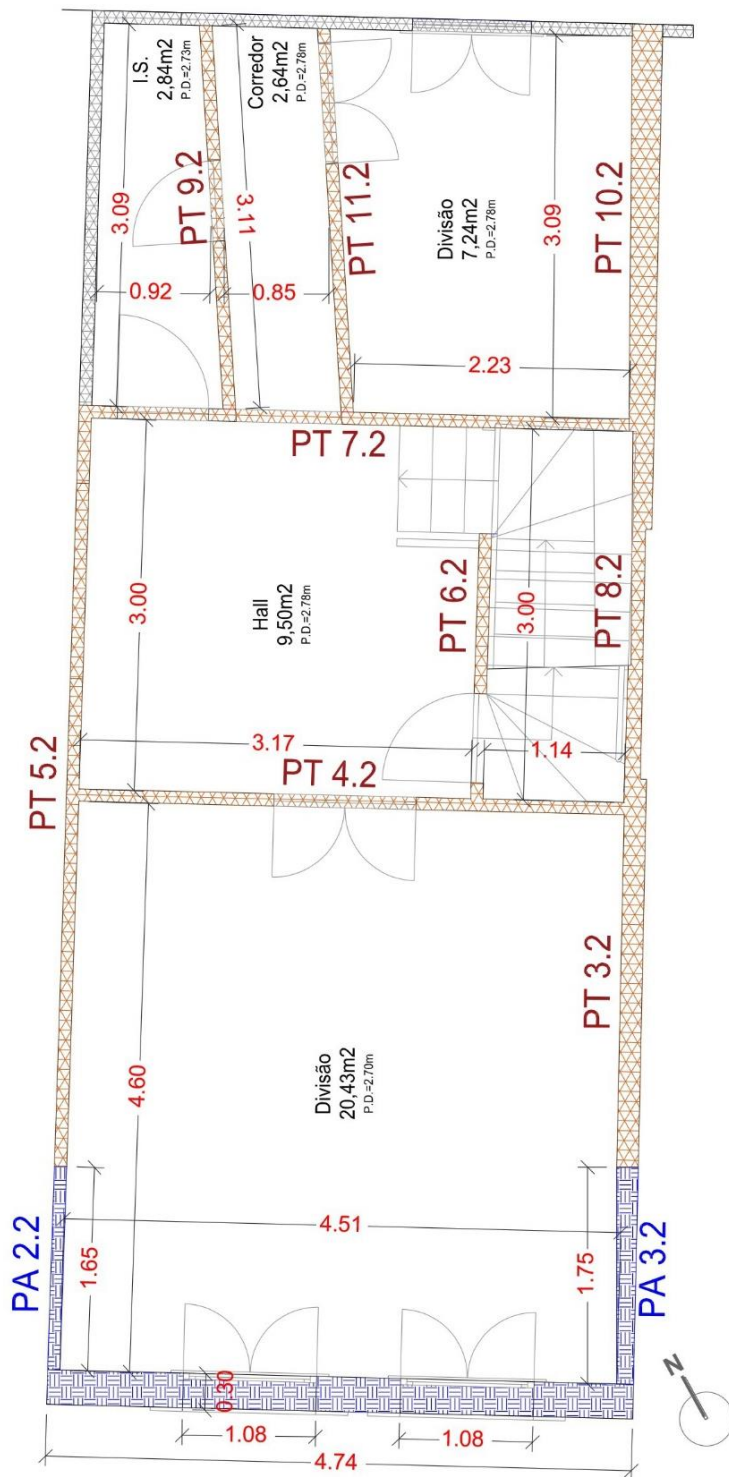


ALÇADO PRINCIPAL - PISO 1

LEGENDA

	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

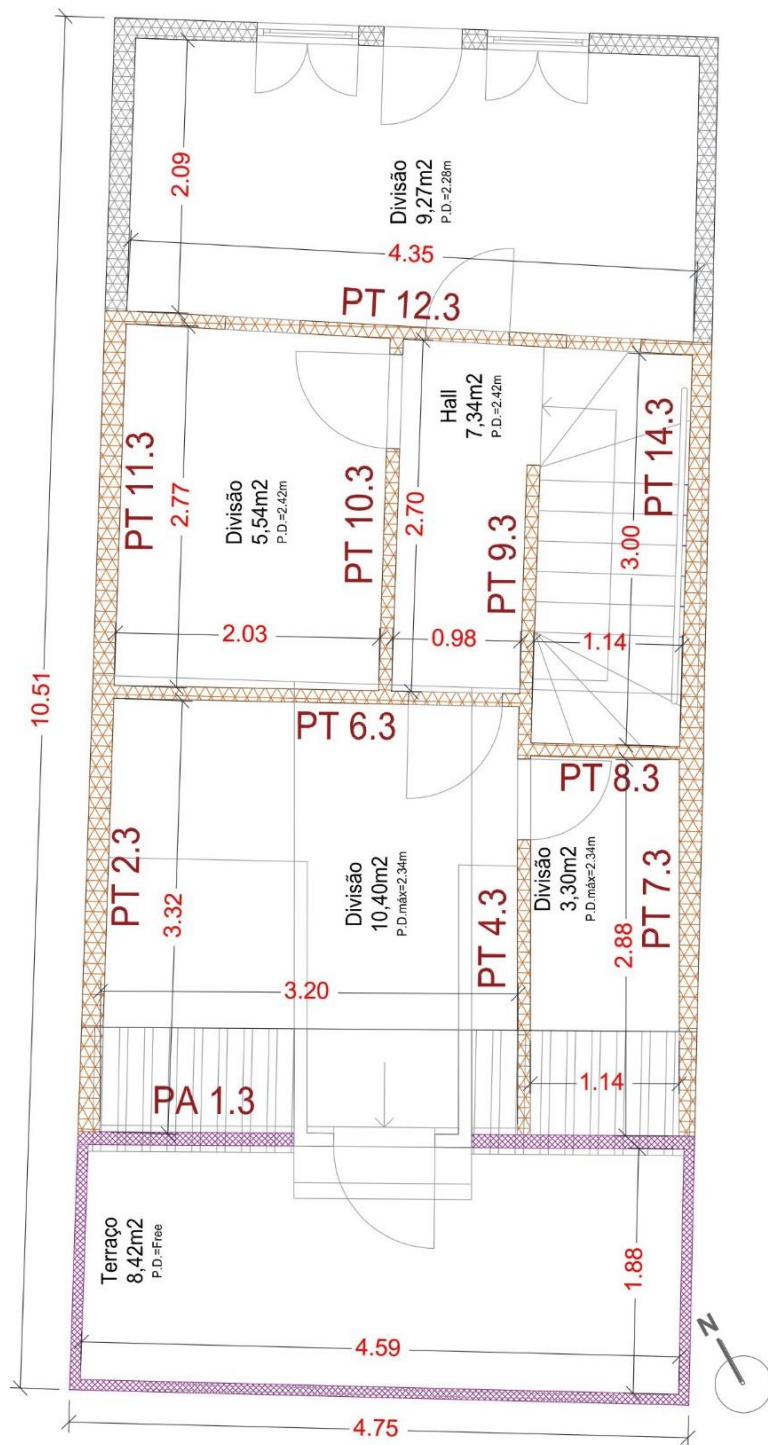
Figura AN.B 2 - Localização das P.T no Piso 1



ALÇADO PRINCIPAL - PISO 2

LEGENDA	
	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique (PT) inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

Figura AN.B 3 - Localização das P.T no Piso 2



ALÇADO PRINCIPAL - PISO 3

LEGENDA	
	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique (PT) inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

Figura AN.B 4 - Localização das P.T no Piso 3

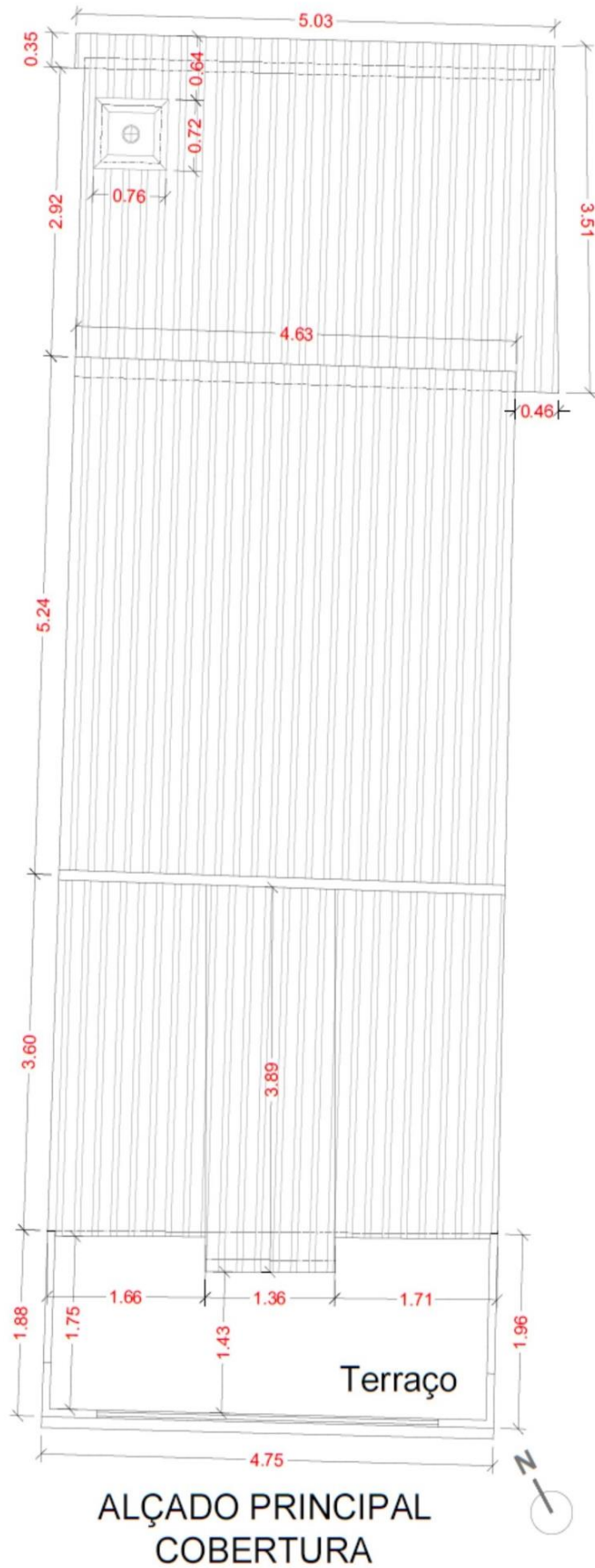
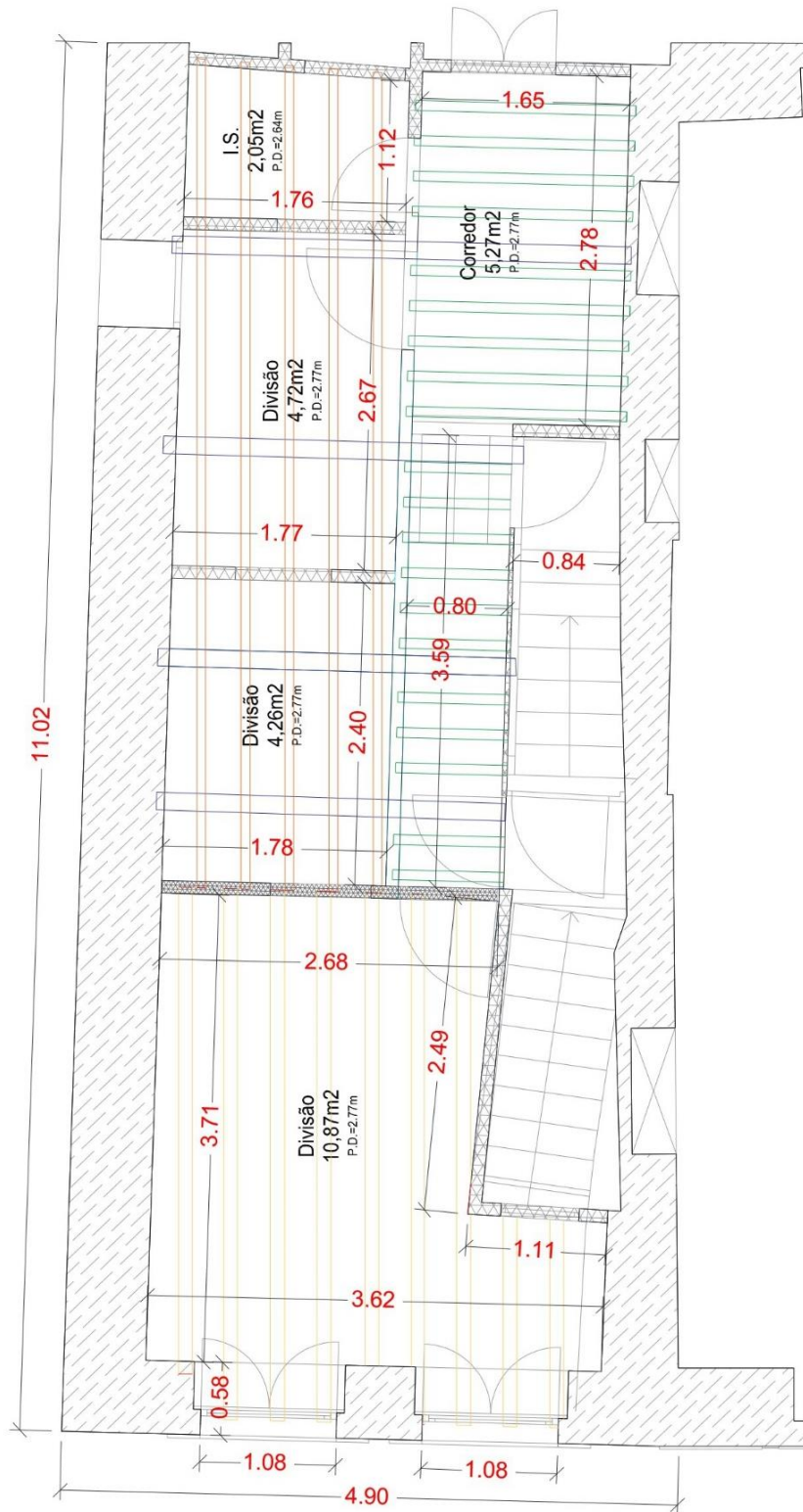


Figura AN.B 5 - Planta da cobertura



PAV - PISO 1

LEGENDA: SECÇÃO DAS VIGAS

	0.21 x 0.14 m		0.15 x 0.08 m
	0.13 x 0.11 m		0.10 x 0.07 m
	Pedra		

Figura AN.B 6 - Disposição das vigas no pavimento do Piso 1

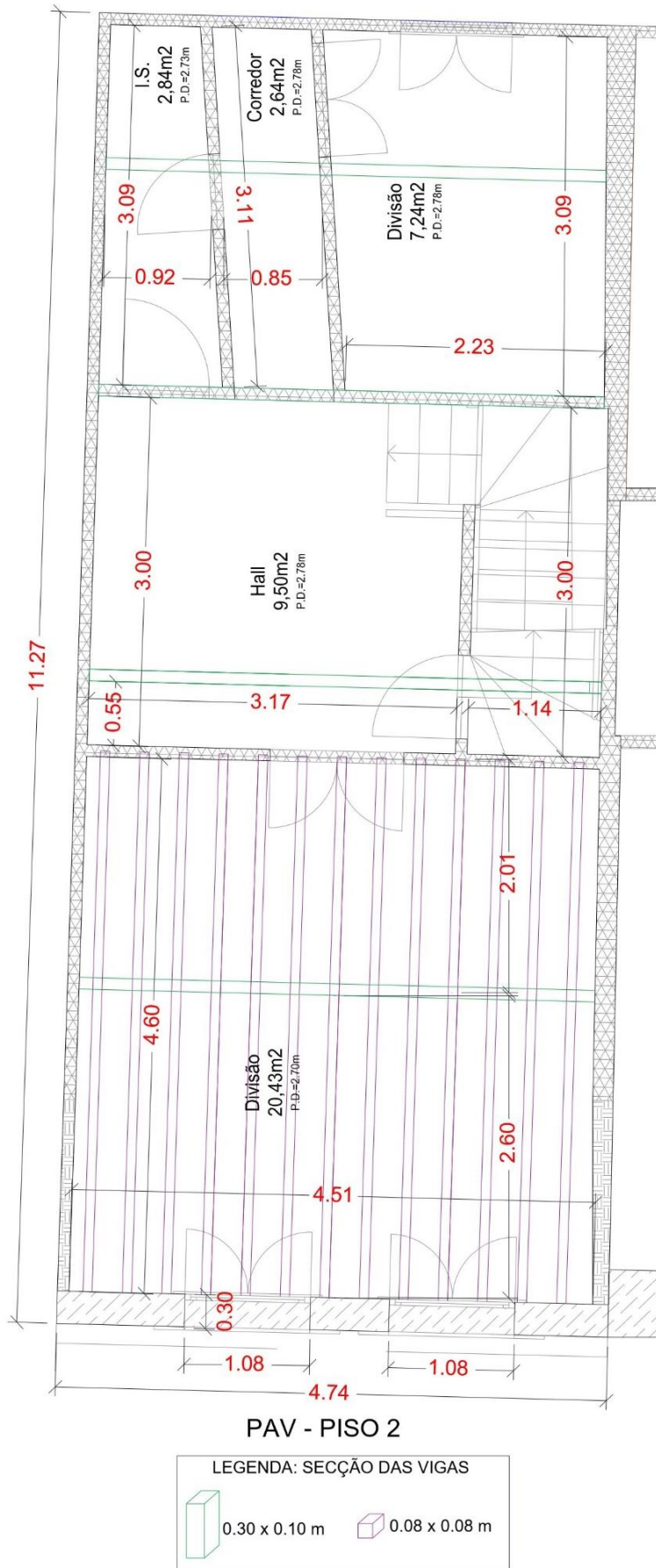


Figura AN.B 7 - Disposição das vigas no pavimento do Piso 2

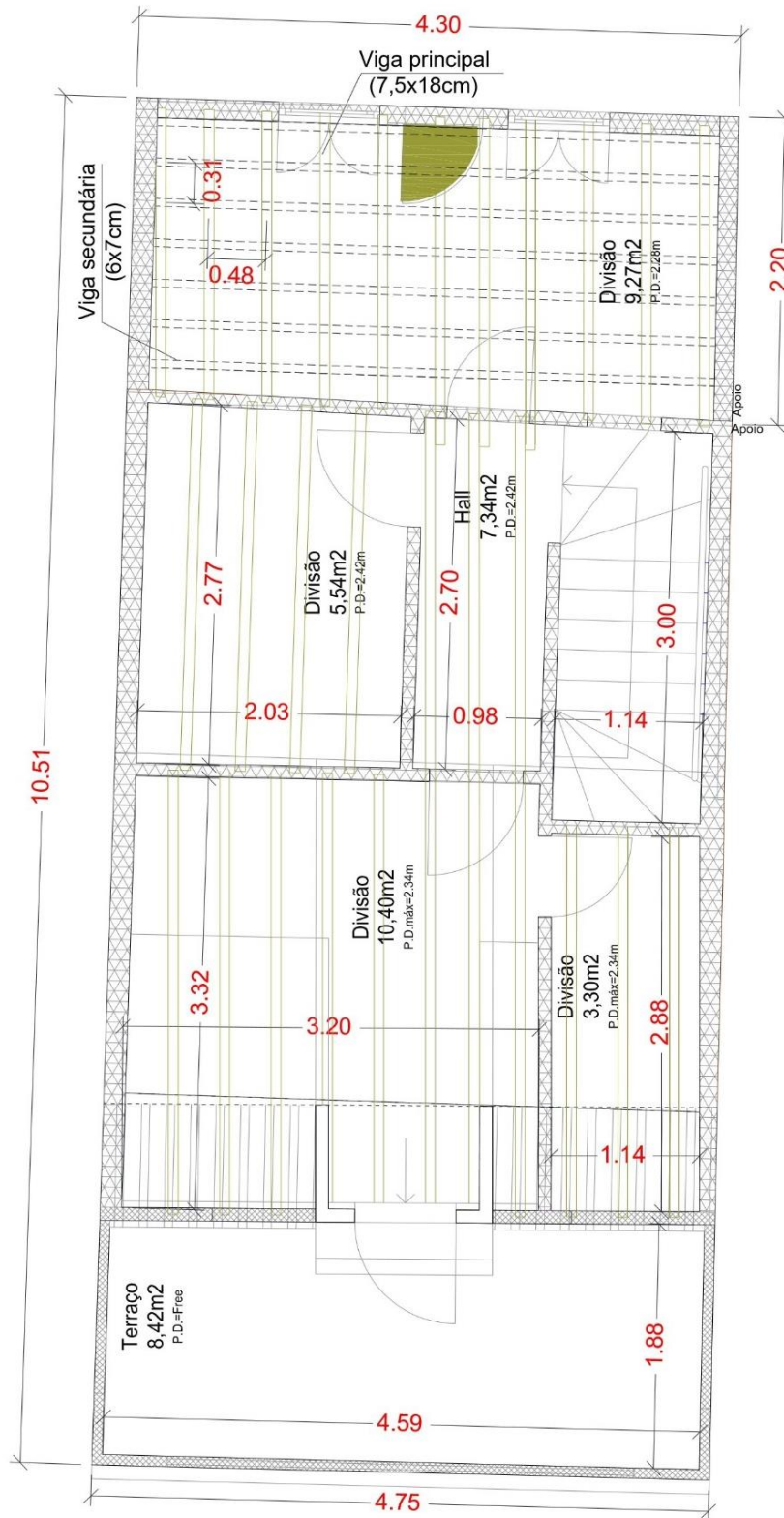
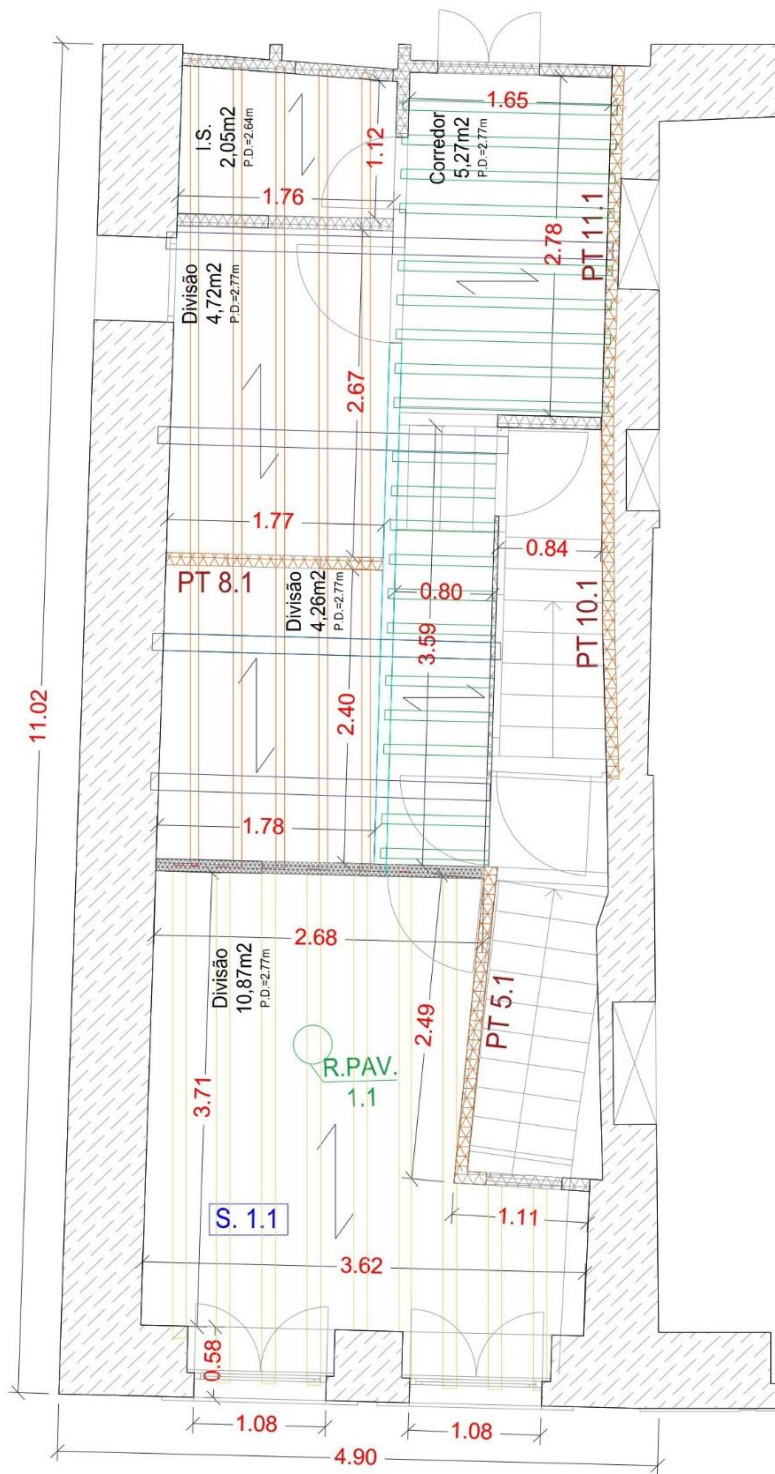


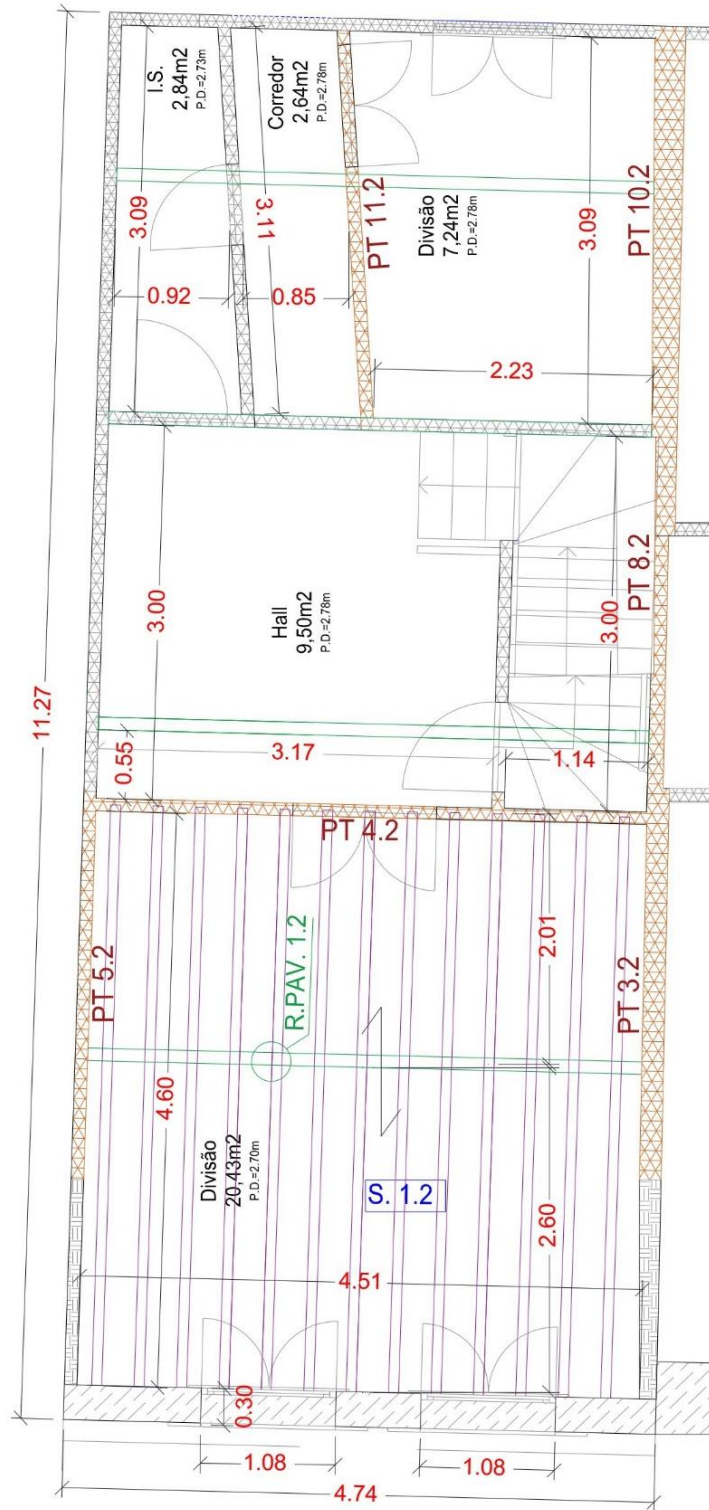
Figura AN.B 8 - Disposição das vigas no pavimento do Piso 3



PAV - PISO 1

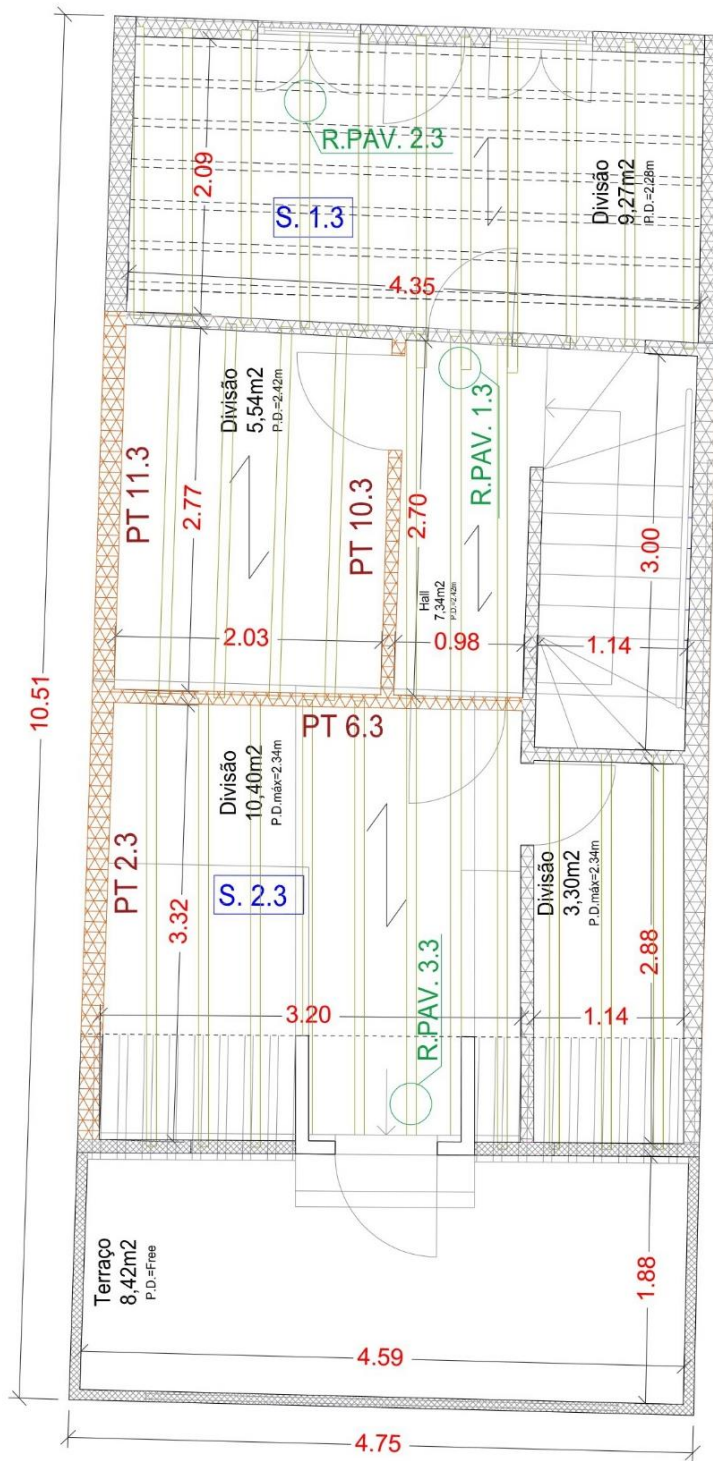
LEGENDA	
S. x.x	Local do ensaio com o Sismógrafo
PT x.x	Parede de Tabique (PT) inspecionada com o Resistograph®
R.PAV. x.x	Local do ensaio com o Resistógrafo no pavimento

Figura AN.B 9 - Localização dos ensaios no Piso 1



LEGENDA	
S. x.x	Local do ensaio com o Sismógrafo
PT x.x	Parede de Tabique (PT) inspecionada com o Resistograph®
R.PAV. x.x	Local do ensaio com o Resistógrafo no pavimento

Figura AN.B 10 - Localização dos ensaios no Piso 2



PAV - PISO 3

LEGENDA	
S. x.x	Local do ensaio com o Sismógrafo
PT x.x	Parede de Tabique (PT) inspecionada com o Resistograph®
R.PAV. x.x	Local do ensaio com o Resistógrafo no pavimento

Figura AN.B 11 - Localização dos ensaios no Piso 3